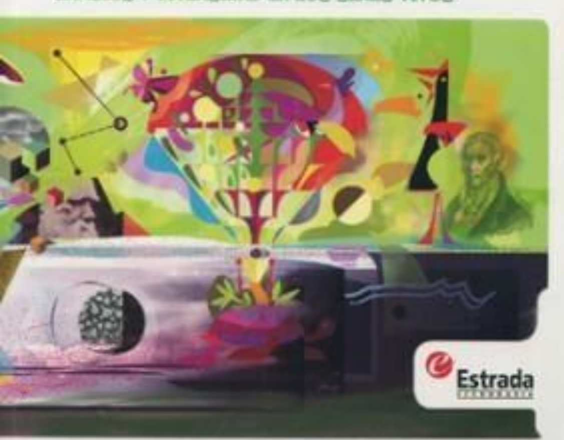
HUELLAS

| Juan Menotti | Guillermo Folguera | Marcelo Olivier |
| Sofía Martínez | Verónica Kornesko |
| Colaboración especial: Gabriel Gellon y Diego Golombek |

[2] ES

# BIOLOGÍA

## CAMBIOS Y DIVERSIDAD EN LOS SERES VIVOS



Estrada



[2] ES

# BIOLOGÍA

## CAMBIOS Y DIVERSIDAD EN LOS SERES VIVOS

| Julián Mensch | Guillermo Folguera | Marcela Gleiser |
| Sofía Martínez | Verónica Korenko |
Colaboración especial: Gabriel Gellon y Diego Golombek



*Huellas Biología. Cambios y diversidad en los seres vivos* es un proyecto ideado y realizado por el Departamento Editorial de Editorial Estrada S.A.

**Corrección:** Marina Rouco
**Coordinadora de Diseño:** Valeria Bisutti
**Diseñadoras de maqueta:** Laura Porta y Ana Sánchez
**Diagramación:** Olifant - Florencia Galeano y Valeria Miguel Villar
**Ilustración de tapa:** Pablo Bisoglio
**Ilustraciones:** Silvana Benaghi, Martín Bustamante y Marcela Colace
**Fotografías:** Latinstock, Thinkstock, Wikimedia Commons y Archivo de imágenes Grupo Macmillan
**Coordinación de marcas y derechos:** Amorina Scalercio
**Gerente de Preprensa y Producción Editorial:** Carlos Rodríguez

Biología 2 ES : cambios y diversidad en los seres vivos : incluye Saber hacer / Marcela Gleiser ... [et.al.]. - 1a ed. - Boulogne : Estrada, 2013.
192 p. : il. ; 28x22 cm. - (Huellas )

ISBN 978-950-01-1611-4

1. Biología. 2. Escuela Secundaria. I. Gleiser, Marcela
CDD 570.712


Editorial Estrada S.A. forma parte del Grupo Macmillan.
Av. Blanco Encalada 104 – San Isidro, provincia de Buenos Aires, Argentina.
Internet: www.editorialestrada.com.ar.
Obra registrada en la Dirección Nacional del Derecho de Autor.
Hecho el depósito que marca la Ley 11.723.
Impreso en Argentina.
Printed in Argentina.
ISBN 978-950-01-1611-4

La presente obra se ha elaborado teniendo en cuenta los aportes surgidos de los encuentros organizados por el Instituto Nacional contra la Discriminación, la Xenofobia y el Racismo (INADI) con los editores de texto.




[2]ES

# BIOLOGÍA

**Gerenta editorial:** Judith Rasnosky

**Jefe de editores:** Marcelo Andiñach

**Coordinador de proyecto:** Pablo Salomón

**Editora:** Luz Salatino

**Asistente de edición:** Sebastián Vargas

## Autores:

**Julián Mensch.** Es licenciado y doctor en Ciencias Biológicas (UBA). Es investigador del Conicet y trabaja en el Departamento de Ecología, Genética y Evolución de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la UBA. Se desempeña como docente en cursos de Biología evolutiva a nivel de grado y postgrado. Miembro organizador de la Escuela Latinoamericana de Evolución. Autor de numerosos artículos en libros y en revistas nacionales e internacionales.

**Guillermo Folguera.** Es licenciado y doctor en Ciencias Biológicas y licenciado en Filosofía, títulos de la UBA. Es investigador adjunto del Conicet en la temática de Filosofía de la Biología. Es docente de la disciplina Historia de la Ciencia de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales (FCEN). Ha realizado diversas estancias de investigación en el exterior, y dictado cursos de postgrado en las temáticas de filosofía de la ciencia. Es autor de libros y de numerosos artículos en revistas nacionales e internacionales.

**Marcela Gleiser.** Es licenciada en Ciencias Biológicas (UBA). Docente en el área de Ciencias Naturales en nivel secundario, modalidad presencial y a distancia.

**Sofía Martínez.** Es licenciada en Ciencias Biológicas (UBA). Postgrado en Comunicación Científica, Médica y Ambiental (Pompeu Fabra, España). Autora de artículos académicos y de divulgación científica. Editora y revisora de productos de *e-learning*, de libros y de manuales para alumnos, guías docentes y textos académicos.

**Verónica Korenko.** Es licenciada y magíster en Ciencias Biológicas (Universidad de la República, Uruguay). Egresada del Instituto de Profesores Artigas (Uruguay), se desempeña como Docente en el área de Ciencias Naturales en nivel secundario. Autora de artículos académicos y de divulgación científica.

**Gabriel Gellon.** Es licenciado en Ciencias Biológicas (UBA) y doctor en Biología (PhD) en Yale University, en donde trabajó como investigador. Ex docente en nivel secundario en la Argentina y en Estados Unidos, ha sido creador y director de varios proyectos educativos relacionados con la ciencia. Ex codirector de la Diplomatura en Enseñanza de la Ciencia de FLACSO. Actualmente, preside la ONG Expedición Ciencia. Autor de artículos y de libros de divulgación científica.

**Diego Golombek.** Es licenciado y doctor en Ciencias Biológicas (UBA). Profesor titular en la Universidad Nacional de Quilmes (UNQ), donde se desempeña como investigador principal del Conicet. Ha sido profesor invitado en prestigiosas universidades del mundo. Autor de artículos y de libros de divulgación científica. Es director de la colección Ciencia que Ladra, de Siglo XXI Editores, y realiza diversas actividades de divulgación científica en medios gráficos y televisivos. Es miembro de la Comisión Nacional para el Mejoramiento de la Enseñanza de las Ciencias y de la Comisión de Educación de la Feria del Libro, y ex presidente de la Sociedad Argentina de Neurociencias.

# Índice

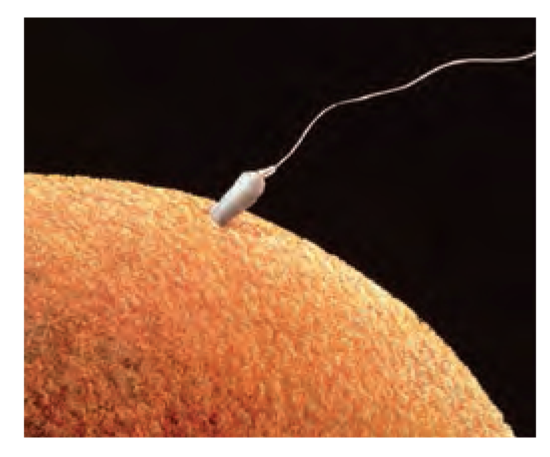
## Bloque 2: La célula y la evolución

Índice

## Bloque 3: La reproducción en los seres vivos







## Bloque 4: La herencia biológica





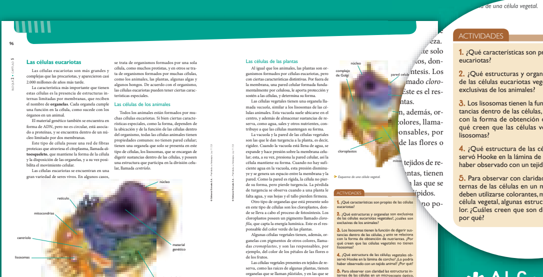




# Para aprovechar este libro

## LAS PÁGINAS DE DESARROLLO

* En cada doble de desarrollo, se abordan temas con textos claros y accesibles que tienen en cuenta las competencias lectoras de los alumnos del nivel.




* Al final de cada tema, encontrarán actividades de comprensión y repaso.

## ESTUDIO DE CASO. POR GABRIEL GELLON

* Cada apertura plantea un caso dilemático para resolver a partir de la información del capítulo. Son situaciones disparadoras que permiten que los alumnos se planteen preguntas sobre fenómenos cotidianos y naturales.




* A lo largo del desarrollo del capítulo, se plantean actividades que vinculan la información de las páginas con el caso de la apertura. El objetivo de estas plaquetas es que los alumnos comiencen a relacionar sus saberes previos con los conocimientos que van adquiriendo al leer el capítulo.

* La sección Estudio de caso tiene un cierre en la sección de actividades finales. Allí se retoma el tema de la apertura y se plantean actividades que permiten comprender la situación planteada a la luz de los conceptos vistos en el capítulo.

## EXPERIMENTOS EN PAPEL

* En cada capítulo encontrarán un experimento histórico o ficticio integrado a la explicación de un tema. Tienen una estructura definida en la que se identifican los elementos de una actividad experimental.



EXPERIMENTOS EN PAPEL

**¿Existe alguna relación entre los testículos y el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios en los machos?**

HIPÓTESIS: los testículos son necesarios para el desarrollo de los caracteres sexuales masculinos.

PREDICCIÓN: el reimplante de testículos a gallos castrados, reestablece los caracteres secundarios masculinos.

PROCEDIMIENTO: Berthold le extirpó los testículos a seis gallos y los organizó en tres grupos. Grupo 1: gallos castrados a los que les reinsertó sus propios testículos; grupo 2: gallos castrados con testículos reinsertados de otros gallos; grupo 3: gallos castrados a los que no se les reinsertó testículos.

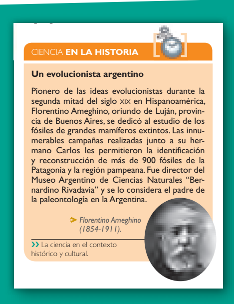
RESULTADOS: los grupos 1 y 2 mostraron comportamiento agresivo y desarrollaron crestas. Los gallos del grupo 3 no mostraron cambios.

CONCLUSIONES: los testículos son responsables del desarrollo de los caracteres secundarios masculinos en los gallos.



Experimento de Berthold (1849).

## CIENCIA EN LA HISTORIA
## CIENCIA EN LA NET

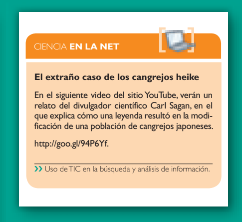

CIENCIA **EN LA HISTORIA**

**Un evolucionista argentino**

Pionero de las ideas evolucionistas durante la segunda mitad del siglo XIX en Hispanoamérica, Florentino Ameghino, oriundo de Luján, provincia de Buenos Aires, se dedicó al estudio de los fósiles de grandes mamíferos extintos. Las innumerables campañas realizadas junto a su hermano Carlos les permitieron la identificación y reconstrucción de más de 900 fósiles de la Patagonia y la región pampeana. Fue director del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" y se lo considera el padre de la paleontología en la Argentina.

*Florentino Ameghino (1854-1911).*

La ciencia en el contexto histórico y cultural.


CIENCIA **EN LA NET**

**El extraño caso de los cangrejos heike**

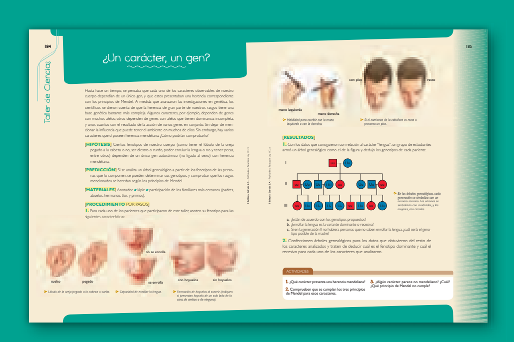
En el siguiente video del sitio YouTube, verán un relato del divulgador científico Carl Sagan, en el que explica cómo una leyenda resultó en la modificación de una población de cangrejos japoneses.

http://goo.gl/94P6Yf.

Uso de TIC en la búsqueda y análisis de información.

✱ En las páginas de este libro, encontrarán las plaquetas Ciencia en la historia y Ciencia en la Net, con textos que vinculan las ciencias naturales y propuestas con recursos tecnológicos que permiten profundizar los temas, respectivamente.

## TALLER DE CIENCIAS




✱ En esta sección podrán realizar experiencias que permitirán que los alumnos logren responder a preguntas relacionadas con los temas del libro. Se identifican los elementos de la actividad experimental y, además, se brindan resultados posibles que los alumnos pueden analizar y de los que pueden sacar conclusiones.

## VIAJERO DEL TIEMPO. POR DIEGO GOLOMBEK




✱ Reportajes ficcionales a científicos, naturalistas y filósofos naturales con la impronta de Diego Golombek. En esta sección se pone en contexto histórico, social y hasta psicológico, a personajes relevantes de la historia de la ciencia.

## CIENCIA EN ACCIÓN

✱ En cada capítulo encontrarán una página especial integrada al desarrollo de los temas en la que se manifiesta el vínculo con la tecnología, la sociedad y el ambiente de los conceptos vistos.


CIENCIA **EN ACCIÓN**

**Los microscopios**

Gracias a las innovaciones hechas en los microscopios, fue posible describir la estructura interna de estos seres vivos tan pequeños: los procariotas. Existen dos tipos de microscopios: el óptico y el electrónico. El microscopio óptico basa su funcionamiento en el paso de la luz a través de dos lentes, el objetivo y el ocular, que aumentan el tamaño de la imagen hasta unas 1.000 veces. El microscopio electrónico, en cambio, funciona con un haz de electrones, y permite agrandar la imagen hasta unas 100.000 veces.

*Un mismo tipo de célula vista a través de un microscopio óptico (A) y de un microscopio electrónico (B).*

Relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

**La sexta extinción**

climático. Este escenario no solo indica la posible extinción de muchos grupos de especies como consecuencia del calentamiento global, sino que además el aumento de temperatura podría tener un efecto sobre la distribución de las especies que sobrevivan.

Esta nueva extinción de especies es considerada por muchos autores como la sexta gran extinción en la historia de la vida.

*El calentamiento global está causando graves alteraciones en los ecosistemas y en la biodiversidad.*

*A medida que la población humana crece, modifica los ambientes naturales y altera la vida de las especies que en ellos habitan.*

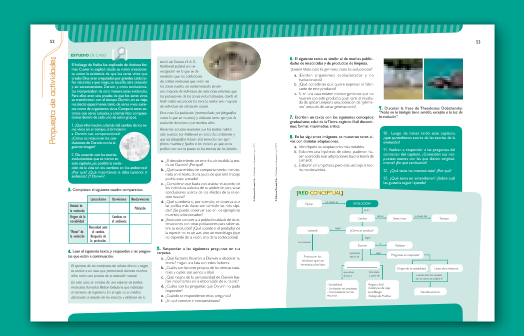
1. ¿Qué factores causaron extinciones masivas en el pasado?, ¿qué factores están causando una extinción masiva en la actualidad?
2. ¿Qué actividades deberíamos modificar para frenar el cambio climático?
3. ¿Si una especie desaparece es posible que vuelva a originarse en el transcurso de la evolución? Es decir, ¿es reversible la extinción?
4. ¿Todas las especies son intolerantes al aumento de temperatura? Investiguen qué ocurre con las arqueas.

La ciencia en relación con la tecnología, la sociedad y el ambiente.

✱ Con el mismo objetivo que la sección, las plaquetas Ciencia en acción relacionan la información de las páginas de desarrollo con la tecnología, la sociedad y el ambiente.

## PROPUESTA DE ACTIVIDADES

✱ Sección final en la que se propone una variedad de actividades de comprensión y de integración y se incluyen las actividades de cierre del Estudio de caso.



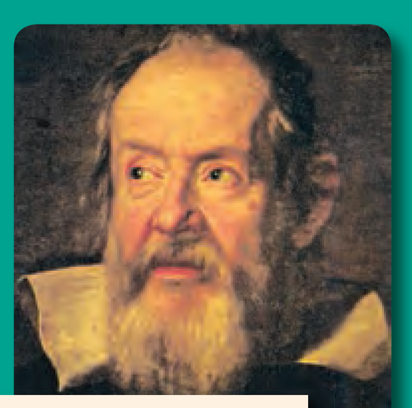

✱ Red conceptual que refuerza e integra los temas del capítulo. Tiene espacios para que los alumnos puedan completar con conceptos faltantes.

✱ Plaqueta con preguntas cuyo objetivo es que los alumnos reflexionen sobre su propio aprendizaje.

Contenidos: Las ciencias naturales • La biología: desarrollo histórico • Los modos de conocer en biología • Las ciencias biológicas • Debates biológicos del siglo XXI • Cronología de la biología y de la filosofía natural

## Introducción

# Los modos de conocer en biología



Galileo Galilei.

*"En lo tocante a ciencia, la autoridad de un millar no es superior al humilde razonamiento de un hombre".*

Galileo Galilei (científico italiano, 1564-1642).

*"Bien, la evolución es una teoría. También es un hecho. Y hechos y teorías son cosas diferentes, no peldaños en una jerarquía de certeza creciente. Los hechos son los datos del mundo. Las teorías son estructuras de ideas que explican e interpretan los hechos. Los hechos no se marchan cuando los científicos debaten teorías rivales para explicarlos. La teoría gravitacional de Einstein reemplazó a la de Newton en este siglo XX, pero las manzanas no se quedaron suspendidas en el aire esperando el resultado. Y los humanos evolucionaron de ancestros similares a monos, ya sea que lo hicieron mediante el mecanismo propuesto por Darwin o por algún otro no descubierto aún".*

Stephen Jay Gould (paleontólogo estadounidense, 1941-2002), en "La evolución como hecho y como teoría", revista Discover N.° 2, mayo de 1941.



Richard Dawkins.

*"¿No es triste irse a la tumba sin llegar a preguntarse por qué has nacido? ¿Quién, ante semejante pensamiento, no habría saltado de la cama, ansioso por comenzar de nuevo a descubrir el mundo y a regocijarse por ser parte de él?".*

Richard Dawkins (biólogo británico nacido en 1941).

Isaac Newton.

*"Si he visto más lejos, es porque estoy sentado sobre los hombros de gigantes".*

Isaac Newton (científico inglés, 1642-1727), en una carta a Robert Hooke, 1676.

*"La ciencia no es una acumulación estática de hechos organizados de un modo particular, sino una masa un poco amorfa de conocimientos que crece constantemente, desarrollando nuevas prominencias y apéndices que no es posible predecir. [...] Muchas preguntas aún no tienen respuesta. Lo que es más importante, muchas buenas preguntas aún no han sido formuladas. Tal vez sea el lector quien las formule".*

Helena Curtis (escritora científica estadounidense, 1924-2005).

## Palabra de científico

En estas páginas, pueden leer reflexiones de algunos de los científicos e investigadores más importantes de la historia, respecto de su quehacer como científicos y de las características de su objeto de estudio: las ciencias de la naturaleza.

➢ Charles Darwin.

*"Cuando estaba como naturalista a bordo del Beagle, buque de la marina real, me impresionaron mucho ciertos hechos que se presentan en la distribución geográfica de los seres orgánicos que viven en América del Sur y en las relaciones geológicas entre los habitantes actuales y pasados de aquel continente. Tales hechos parecían dar alguna luz sobre el origen de las especies, este misterio de los misterios, como lo ha llamado uno de nuestros mayores filósofos. A mi regreso al hogar, ocurrióseme, en 1837, que acaso se podría llegar a descifrar algo de esa cuestión acumulando pacientemente y reflexionando sobre toda clase de hechos que pudiesen tener quizá alguna relación con ella. Después de cinco años de trabajo, me permití discurrir especulativamente sobre esta materia y redacté unas breves notas, ampliadas en 1844, formando así un bosquejo de las conclusiones que entonces me parecían probables".*

*Charles Darwin (naturalista británico, 1809-1882), en* El origen de las especies*, 1859.*

*"No hay vuelta al pasado. En el futuro tendremos que vivir y pensar con relación a los logros actuales de la ciencia. Sin embargo, estos logros nos aseguran que la grandeza del hombre no consiste en sus falsas pretensiones egocéntricas, sino en su capacidad de comprender la grandeza del Universo, la inagotable cadena de desarrollo ordenado que lo compone".*

*Alexander Oparin (biólogo ruso, 1894-1980), en* El origen químico de la vida*, 1964.*

* Lean los fragmentos y luego, expliquen qué es la ciencia, a partir de las palabras de estos científicos. ¿Qué título le pondrían a cada cita?
* ¿Qué quiso decir Galileo con su frase? ¿Y Newton?
* ¿Cuáles de los textos hacen referencia a la ciencia como una actividad humana? Justifiquen.
* ¿En qué fragmentos se describen características de los científicos? ¿Esas características pueden generalizarse al resto de los investigadores? ¿Por qué?
* ¿En qué texto se describe el modo de llevar a cabo una investigación? ¿En qué año fue escrito? ¿Piensan que habrá diferencias con la manera de investigar en la actualidad? ¿Por qué?
* ¿Cómo definirían ustedes la biología?

» Relación entre la ciencia, la historia y la sociedad.

## ¿Qué es la ciencia?

La ciencia (igual que las explicaciones sobrenaturales y la filosofía) es una forma de interpretar el mundo. Los primeros intentos del ser humano de explicar la naturaleza y sus fenómenos se basaron en dioses y en fuerzas sobrenaturales. Luego, desde el siglo VI a. C., comenzó a desarrollarse la filosofía, que se ocupa de determinar qué es el “saber”. Sin embargo, estos tres enfoques no fueron sucesivos (uno no desplazó al siguiente), sino que se complementaron para abordar el problema del conocimiento.

La ciencia no solo se ocupa de descubrir datos nuevos, sino de relacionar esos datos con otros que ya se conocían: es decir, se trata de la percepción de nuevas relaciones entre ellos.

Así, el objetivo de la ciencia es aumentar nuestro entendimiento del mundo y de la naturaleza. Para eso, los científicos hacen observaciones y, a partir de sus conocimientos, de su historia y de la sociedad en la que viven, se formulan **preguntas**. Esas preguntas dan lugar a posibles respuestas que consisten en ideas que pueden ser investigadas: las **hipótesis**. Para investigar una hipótesis, se realizan experimentos o se vuelve a estudiar información anterior desde otra perspectiva. Una prueba esencial para poner a prueba una hipótesis es la deducción lógica de lo que podría ocurrir si esta fuera correcta. A esta deducción se la llama **predicción**, y permite anticipar los resultados que se esperan, si la hipótesis es correcta, y compararlos con los resultados obtenidos mediante una experiencia.

Cuando se obtienen resultados sólidos, que coinciden con las predicciones, los científicos dan a conocer su investigación a través de publicaciones en revistas especializadas.

Las hipótesis que involucran temas fundamentales y que resisten diversas pruebas realizadas de manera independiente, pasan a ser consideradas **teorías**, como la teoría celular o la teoría de la evolución. A su vez, una teoría que logre no ser rechazada durante un tiempo considerable pasa a ser una **ley**. El estatus de ley se suele aplicar a teorías físicas y químicas, que tienen un poder predictivo mayor que la biología (salvo excepciones, como las leyes de la herencia de Gregor Mendel). La biología, por su parte, abarca todas las disciplinas que estudian los seres vivos, o *ciencias de la vida*, y trata de responder preguntas acerca de fenómenos únicos, como “¿por qué no hay koalas en la Argentina?”, “¿por qué una herida se infecta?” o “¿cómo llegó el *Homo sapiens* a América?”.



*La observación cuidadosa y sistemática, como se realizaba hace 300 años, sigue siendo clave en las investigaciones biológicas actuales.*



*El registro de datos es una parte fundamental de la experimentación científica.*



*Ciertas hipótesis solo pueden ser puestas a prueba a partir del desarrollo de las herramientas tecnológicas adecuadas, como el microscopio óptico, el electrónico o las máquinas que permiten secuenciar ADN.*

## La biología y las ciencias biológicas

La biología es una ciencia muy diversificada, dado que estudia desde virus, bacterias y hongos hasta plantas y animales. Además, según la disciplina, se focaliza en distintos niveles de organización, como macromoléculas, células, tejidos, organismos, poblaciones, comunidades y ecosistemas. La investigación sobre cada grupo de seres vivos en cada nivel de organización constituye un campo o área de la biología, por ejemplo: citología, ecología, biología molecular, sistemática, fisiología. Muchas de estas especialidades tienen, a su vez, aplicaciones prácticas que han dado origen a nuevas áreas de investigación, como la medicina, la salud pública, la agricultura, entre otras.

Si bien la biología se estableció como ciencia recién a mediados del siglo XIX, sus orígenes se remontan a los antiguos griegos. Desde sus comienzos se distinguieron dos ramas distintas que aún hoy se mantienen: la rama médica y la rama de la historia natural. Estas dos ramas de investigación se fueron separando entre sí a lo largo de la historia. Sin embargo, continuaron conectadas por la botánica que, a pesar de pertenecer a la historia natural, se relacionaba con la medicina debido al estudio de las plantas con propiedades medicinales.

A fines del siglo XVIII, terminaron de consolidarse las diferentes disciplinas biológicas; de la rama médica surgieron, por ejemplo, la anatomía y la fisiología, mientras que la rama de la historia natural dio origen a la clasificación y a la comparación de los seres vivos (como la botánica y la zoología), la genética y la ecología, entre otras áreas. La paleontología, por su parte, se considera relacionada con las ciencias de la Tierra.



*Los equipos que realizan tratamientos de fertilidad humana están formados por médicos y por biólogos.*



*La zoología, la ecología y la embriología se aplican en la conservación de poblaciones de especies amenazadas, como el cóndor.*



*La sistemática y la taxonomía se ocupan de nombrar y clasificar a los seres vivos.*



CIENCIA **EN LA HISTORIA**

### El origen de la palabra *biología*

El término *biología* apareció escrito por primera vez en 1766, en un texto del científico alemán Christoph Hanov. Más adelante, en 1802, el conde francés de Lamarck (1744-1829) definió el término como "una de las tres partes de la física terrestre; comprende todo lo que se relaciona con los cuerpos vivientes, y particularmente su organización, sus desarrollos, su composición creciente con el ejercicio prolongado de los movimientos de la vida, su tendencia a crear órganos especiales, a aislarlos, a centralizar su acción".

» La ciencia como construcción histórica y cultural.

ACTIVIDADES

1. Escriban un texto donde describan el trabajo de los científicos en ciencias naturales.
2. ¿Por qué en biología no hay tantas leyes como en física?
3. ¿La biología es una ciencia estática? ¿A qué creen que se debe esto?

# La biología, “una frontera infinita”

En la actualidad, la biología se halla extremadamente diversificada y especializada en una cantidad enorme de disciplinas. Además, en la gran mayoría de las investigaciones intervienen equipos multidisciplinarios, con personas formadas en áreas muy diferentes. El rápido desarrollo de herramientas tecnológicas y la insaciable sed de conocimiento del ser humano hacen que la ciencia continúe sumando nuevas ideas y descubrimientos de manera constante. Al mismo tiempo, junto con los desarrollos científicos, surgen planteos éticos que necesitan ser resueltos por el conjunto de la sociedad. Veamos algunos ejemplos de investigaciones actuales.

Desarrollo energético

**Petróleo, tecnología y nación**

El Gobierno anunció la creación de Y-TEC, un emprendimiento conjunto de YPF y Conicet destinado a generar y aplicar conocimiento en distintas áreas de la industria energética nacional. Gustavo Bianchi, director general de la empresa, detalla el rol clave que jugará la compañía para alcanzar el autoabastecimiento de hidrocarburos, promover el ingreso de científicos en el sector productivo y convertir al país en referente mundial en la explotación de yacimientos no convencionales. […] El conjunto de líneas de investigación incluye a matemáticos, físicos, químicos, ingenieros de todas las ramas, geólogos, biólogos, biotecnólogos, bioquímicos.

*El Cable,* Exactas-UBA, 30 de mayo de 2013.

Biología y sociedad

**Una evidencia para Sherlock Holmes**

Las diatomeas, unas pequeñas algas acuáticas ya conocidas por los científicos por su uso como bioindicadores de las condiciones actuales y pasadas del agua, se utilizan también para aportar pruebas al diagnóstico de muerte por sumersión.

La principal evidencia consiste en encontrar, en los tejidos de la víctima, unas algas microscópicas que viven en el agua: las diatomeas. “Este test dice si la persona murió por ingreso violento de agua en las vías respiratorias”, explica la doctora Nora Maidana, a cargo del Laboratorio de Diatomeas Continentales de la Facultad de Ciencias Exactas y Naturales de la Universidad de Buenos Aires.

Revista *Exactamente*, junio de 2013.

Salud y tecnología

**iKnife: un bisturí inteligente que detecta tejidos cancerígenos**

[…] Durante su estudio, Takats recopiló datos de los tejidos del cerebro, pulmón, mamas, estómago y colon de 300 pacientes con cáncer, a fin de elaborar un informe completo. El instrumento se sirve de este informe para reconocer durante la cirugía qué tipo de tejido está seccionando y determinar si está sano en menos de tres segundos. “Creemos que el bisturí servirá para reducir los índices de tumor recurrente y para aumentar las posibilidades de supervivencia del paciente”, afirmó el propio doctor.

Revista *Science*, http://bit.ly/1cL6EzV.

Biología y ambiente

**Nido de ratas: plagas y control ambiental**

Murciélagos, ratas, cucarachas y mosquitos ocupan las ciudades y aumentan su población por la ausencia de depredadores naturales. Mientras nosotros los ahuyentamos con veneno, Olga Suárez, doctora en biología e investigadora del Conicet, investiga “…sus enfermedades, y las formas de control ambiental”.

*Página/12*, 31 de agosto de 2011.

## Los debates científicos en el siglo XXI

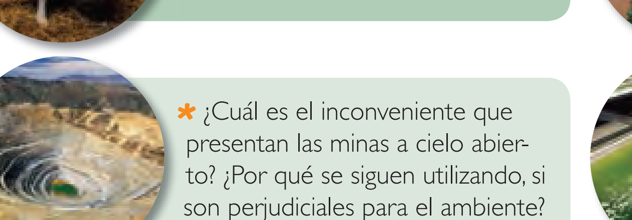
Cotidianamente, nos enteramos de noticias relacionadas con temas científicos y tecnológicos. Las aplicaciones de la ciencia y la tecnología han tenido una gran influencia en el desarrollo de las sociedades, y lo siguen teniendo. Por ejemplo, realizamos nuestras actividades gracias al desarrollo de aparatos tecnológicamente sofisticados, como computadoras, *tablets* y *smartphones*; consumimos medicamentos y esperamos el desarrollo de nuevas terapias médicas; aprovechamos materiales fabricados de forma sintética y la energía obtenida a cientos o miles de kilómetros de distancia; utilizamos sistemas de transporte eficientes; nos entretenemos con nuevas aplicaciones y herramientas digitales, e incrementamos el rendimiento en la explotación agropecuaria, entre muchas otras cosas.

En la actualidad, las decisiones acerca de estos temas dependen de los ciudadanos, ya sea de manera directa o indirecta (por ejemplo, informándose sobre la postura que tienen los candidatos políticos que elige en cada votación, en relación con ciertas problemáticas científicas y tecnológicas). Por eso, es importante que las personas reciban la educación adecuada durante los años de escolaridad, y que se mantengan informadas y actualizadas para poder contar con la competencia científica que les permita analizar y debatir sobre las implicaciones sociales de la ciencia y la tecnología.





* ¿Qué significa clonar? ¿Se clonan seres vivos de manera artificial? ¿Debe permitirse la clonación de seres humanos?



* ¿Cuál es el inconveniente que presentan las minas a cielo abierto? ¿Por qué se siguen utilizando, si son perjudiciales para el ambiente?



* ¿Qué es un transgénico? ¿Son peligrosos estos seres vivos para el ambiente? ¿Y para el consumo por parte del ser humano?



* ¿Qué es el biodiesel? ¿Cómo se produce? ¿Tiene sentido su fabricación a partir de vegetales que sirven para alimentar a la población?



* ¿Qué desventajas poseen las centrales nucleares? ¿Cómo es su eficiencia energética, en comparación con la de una central hidroeléctrica?

CIENCIA **EN ACCIÓN**

### La comunicación científica

Las actividades científicas no son solo cosa de los investigadores, sino que afectan de manera directa o indirecta a toda la población. Por eso, para que los resultados y las conclusiones de las experiencias que pueden tener un determinado impacto en la sociedad logren ser analizados por los ciudadanos, es fundamental que sean comunicados de la manera adecuada. Esta función es cumplida por los periodistas científicos y por los comunicadores de la ciencia, que por lo general son investigadores formados en comunicación.

» La ciencia como construcción histórica y cultural.

ACTIVIDADES

**1.** Observen a su alrededor y elijan dos objetos. ¿Les parece que la ciencia pudo haber estado involucrada en su desarrollo o en su fabricación? ¿De qué manera?

**2.** En grupos de dos compañeros, lean las problemáticas presentadas en esta página y elijan una. Investiguen acerca del tema elegido, y redacten un texto fundamentando su postura.

# La biología en la historia

A continuación, se presentan algunos de los principales hechos relacionados con la investigación biológica, ordenados cronológicamente.

**460-370 a. C.**

El médico griego Hipócrates afirmó que las enfermedades tienen una causa natural (y que, por lo tanto, no eran maldiciones de los dioses, como se pensaba hasta entonces).

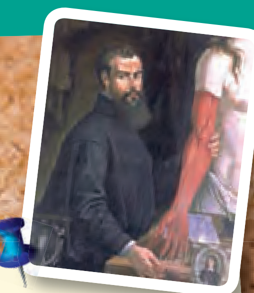


**384-322 a. C.**

El filósofo griego Aristóteles realizó la primera clasificación de los seres vivos.

**130-200 d. C.**

El médico griego Galeno de Pérgamo describió huesos, músculos y articulaciones a partir de diseccionar cerdos y monos. Sus teorías sobre el cuerpo humano se mantuvieron vigentes durante 500 años.



**1543**

El belga Andrés Vesalio estudió la anatomía humana a partir de la observación directa de cadáveres humanos, y corrigió errores presentes en la obra de Galeno.

**1735**

El naturalista sueco Carl von Linné, conocido como Linneo, clasificó a los seres vivos a partir de su aspecto, y estableció un sistema formado por dos palabras en latín para nombrar a las especies. Además, agrupó al ser humano junto con los primates.

**1796**

El médico inglés Edward Jenner inventó la vacuna contra la viruela, que se había convertido en una epidemia.



**1802**

El naturalista francés Jean-Baptiste Lamarck postuló por primera vez que las especies se adaptan al ambiente, es decir, evolucionan.

**1817**

El naturalista francés Georges Cuvier comparó y clasificó las estructuras y las funciones del organismo de diferentes animales.

**1838**

Los alemanes Theodor Schwann (histólogo y fisiólogo) y Matthias Schleiden (botánico) formularon los dos primeros principios de la Teoría celular: *1. Los seres vivos están formados por células o por productos secretados por células. 2. La célula es la unidad básica de organización de los seres vivos.*

**1902**

El embriólogo alemán Theodor Boveri y el genetista estadounidense Walter Sutton plantearon que la información de los caracteres hereditarios se encuentra en los cromosomas, y enunciaron la teoría cromosómica de la herencia.



**1950**

El bioquímico soviético Alexander Oparin y el biólogo inglés John Haldane postularon una teoría sobre el origen de la vida a partir de materia inanimada.



**1910**

El genetista estadounidense Thomas Morgan demostró experimentalmente la teoría cromosómica de la herencia trabajando con moscas.



**1953**

Los biólogos James Watson (estadounidense) y Francis Crick (inglés) determinaron que la molécula de ADN tiene forma de hélice enrollada.

**1996**

Los científicos británicos Ian Wilmut y Keith Campbel lograron la primera clonación de un mamífero a partir de una célula. Este animal, una oveja, recibió el nombre de Dolly.

**1590**

El fabricante de anteojos holandés Zacharias Janssen colocó una lente en cada extremo de un tubo y observó que se producía un aumento. Así se creó el primer microscopio, que luego fue perfeccionado.





**1665**

El científico inglés Robert Hooke observó una lámina de corcho con el microscopio y llamó *células* a las pequeñas cavidades que la conformaban, porque le recordaron a las celdas de un panal de abejas.



**1673**

El científico Anton van Leeuwenhoek, neerlandés, describió por primera vez seres vivos microscópicos mediante sus observaciones con microscopios que él mismo fabricaba. Describió los espermatozoides, los protozoos y los glóbulos rojos de la sangre.

**1684**

El médico y naturalista italiano Francesco Redi realizó un famoso experimento en contra de la generación espontánea, al demostrar que las larvas que aparecen en un trozo de carne provienen de huevos de moscas que se posaron previamente sobre aquella.





**1858**

El médico alemán Rudolf Virchow formuló el tercer principio de la teoría celular: 3. *Toda célula proviene de otra célula.*



**1859**

El naturalista inglés Charles Darwin propuso que la selección natural es el mecanismo por el cual las especies evolucionan.





**1865**

El naturalista austríaco Gregor Mendel estudió la reproducción de las plantas y formuló las leyes de la herencia, que explican la transmisión de ciertos caracteres entre los progenitores y sus descendientes.

**1880**

El científico francés Louis Pasteur estableció las bases de la microbiología, realizó la primera esterilización, logró refutar la teoría de la generación espontánea y confirmó que todo ser vivo proviene de otro ser vivo.



**2003**

Un equipo internacional de científicos dirigido por el doctor Francis Collins, en el marco del Proyecto Genoma Humano (PGH), determinó la secuencia del ADN humano, e identificó y cartografió aproximadamente sus 25.000 genes desde un punto de vista físico y funcional, lo que abrió las puertas para incontables avances médicos y genéticos.

**Siglo XXI**

Diversos científicos trabajan con células madre embrionarias y germinales, células que se multiplican y adquieren la capacidad de diferenciarse a partir de estímulos ambientales; esto permite, potencialmente, producir determinados tejidos humanos en laboratorio, a partir de algunas células madre. La investigación con células madre abre un fuerte debate ético.



### Los períodos de la biología

**Biología antigua (500 a.C-1600), o período de los filósofos naturales**. Se plantearon ideas sobre el origen de la vida, se desarrollaron la botánica, la zoología y la taxonomía, y se estudiaron la anatomía y la fisiología humanas.

**Biología moderna (1600-1900), o período de los exploradores**. Se inventó el microscopio y surgieron nuevas disciplinas, como la citología y la microbiología; además, se investigó acerca de la función de las estructuras celulares, y comenzaron la genética y la evolución.

**Biología molecular (1900-actualidad), o período de la manipulación genética**. Se desarrollaron numerosas herramientas tecnológicas que permitieron el estudio de estructuras moleculares, surgió la biotecnología y aumentaron las aplicaciones de la ciencia en la industria, en la medicina y en la agricultura.

Contenidos: Tipos de biodiversidad • Biodiversidad a los largo de la historia de la vida en la Tierra • Los fósiles • Los estratos geológicos • Distintas formas de explicar la biodiversidad: fijismo y evolucionismo • Criterios de clasificación de los seres vivos • La clasificación en función de la teoría del ancestro común • Los árboles filogenéticos

# 1
# La biodiversidad en la Tierra



Obra del artista Joel Nakamura.

# ESTUDIO DE CASO



## ¿Cuál es el organismo menos emparentado con nosotros?

Hablamos con frecuencia del organismo más parecido a nosotros. Sabemos que nos parecemos mucho a los chimpancés, y un poco menos a los orangutanes, y más a los simios que a los perros. Pero ¿cuál es el organismo más alejado de nosotros? ¿Un insecto, un molusco, un coral? ¿Cómo se resuelve un problema como este?

Es evidente que nuestro pariente más lejano no puede ser un mamífero; con ellos compartimos muchas cosas, desde pelos y mamas hasta la estructura básica de nuestros esqueletos. Pero con argumentos similares debemos descartar las aves, los reptiles, los anfibios y los peces, con quienes compartimos una organización del cuerpo bastante similar. Otros animales tienen una arquitectura anatómica diferente. Los artrópodos (que incluyen arañas, insectos y langostinos, entre otros) tienen el esqueleto por fuera, y su anatomía es radicalmente diferente (tienen incluso otro tipo de sangre). Pero los moluscos, los equinodermos, las lombrices y muchos otros son en el fondo tan diferentes de nosotros como los insectos.

Con la ayuda de la embriología y la genética, es posible especular que los animales menos parecidos a nosotros deben ser las esponjas marinas. Sin embargo, los animales en su conjunto están más relacionados unos con otros de lo que lo están con las plantas. Si bien es cierto que ambos tipos de organismos están constituidos por células, las células de las plantas y las de los animales son distintas. Esta diferencia —el tipo celular— es mucho más profunda que cualquier detalle de diseño anatómico. Pero aun con este criterio, estamos más cerca de las plantas que de la mayoría de los organismos sobre este planeta. En efecto, la mayoría de los seres vivos sobre la Tierra son bacterias, organismos cuyas características celulares son tan diferentes de las nuestras y de las de las plantas que, en comparación, un ombú es nuestro primo cercano. Y, sin embargo, por más extrañas que sean, bacterias como los estreptococos —responsables de varios dolores de garganta— y los bacilos —presentes en el yogur— son en el fondo, aunque muy lejanos, nuestros parientes.

* Investiguen qué es una “papa de mar”. Este organismo, dado que es un cordado, está más emparentado con nosotros de lo que lo está un insecto. Investiguen las características fundamentales de un cordado.

* Las aves y los mamíferos están emparentados, pero son grupos diferenciados. Nombren dos características que los diferencien y otras dos que tengan en común, pero que no compartan con los insectos.

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

## ¿Qué es la biodiversidad?

No hay rincón de nuestro planeta en que no encontremos una enorme variedad de seres vivos. Incluso en las regiones aparentemente más inhóspitas, como los desiertos o las zonas polares, en las que nos resulta difícil creer que algún organismo pueda sobrevivir, la vida se abre paso con innumerables variedades y formas.

El concepto de **biodiversidad** hace referencia a la variedad de vida que habita en nuestro planeta. Sin embargo, esta definición es demasiado amplia. Al realizar un análisis más detallado del término, es posible identificar diferentes aspectos en cuanto a la diversidad de los sistemas vivientes, organizados en tres niveles: el nivel genético, el nivel de especies y el nivel de ecosistemas. De acuerdo con esto, la biodiversidad hace referencia, por un lado, a la **variabilidad** de los individuos dentro de una misma especie, y por otro, a la **variedad** tanto de las especies de seres vivos como de los ecosistemas en los que esas especies existen.



*El concepto de biodiversidad hace referencia de la variedad de seres vivos que existe en la Tierra.*



### Diversidad genética



*La diversidad genética es la variabilidad de características, dentro de una población, que pueden ser transmitidas a la descendencia.*

La biodiversidad puede analizarse desde el punto de vista de la variabilidad de la *información hereditaria*, también llamada *variabilidad genética*, en una especie o en una determinada población; esta información, como se estudiará en el capítulo 8, está relacionada con las características que se heredan entre los individuos y su descendencia. Cuando en una población la variabilidad genética es grande, sus posibilidades de responder frente a alguna adversidad (enfermedades, modificaciones en el ambiente, etc.) son mayores. Esto ocurre porque al haber una mayor cantidad de individuos con distinta información genética, es más probable que algunos de ellos posean características que les permitan resistir dicha adversidad. Por el contrario, en poblaciones con muy poca variabilidad genética, las probabilidades de que algún individuo tenga cualidades que le permitan afrontar los factores adversos son más bajas.

## Diversidad específica

Dada la diversidad de la vida en la Tierra, es difícil encontrar una definición simple que explique qué es una **especie**. El criterio más utilizado considera que dos seres vivos pertenecen a la misma especie cuando, por medio de la reproducción, pueden tener descendencia fértil, es decir, hijos que, a su vez, puedan tener otros hijos.

Un gato siamés y un gato persa, al cruzarse, tienen crías que podrán a su vez tener cría con cualquier otro gato. Pertenecen, entonces, a la misma especie; las diferencias en su aspecto se deben a que son de "razas" diferentes, es decir que, en este caso, la diversidad de gatos se debe a una diversidad genética. La cruza entre una yegua (hembra del caballo) y un burro, en cambio, da como resultado una mula, que es estéril, es decir, que no puede tener hijos. Por lo tanto, el caballo y el burro no son de la misma especie, y su descendencia recibe el nombre de *híbrido*.

Cuando un ambiente posee una mayor cantidad de especies que otro, se dice que su biodiversidad específica es mayor. Para medir la biodiversidad de un ambiente, es preciso calcular, por un lado, la cantidad de especies presentes en él y, por otro, la cantidad de individuos que posee cada especie, es decir, su abundancia. Si bien la mayor parte de las especies no han sido identificadas, y muchas ni siquiera han sido vistas por el ser humano, la biodiversidad específica del planeta Tierra puede ser estimada entre 40 y 80 millones de especies diferentes.



*Los arrecifes de coral son zonas de alta diversidad específica.*

## Diversidad de ecosistemas

La biodiversidad también puede analizarse desde el punto de vista de la cantidad de ecosistemas presentes en un determinado territorio. La diversidad de los ecosistemas es más difícil de medir que la de las especies, porque los límites de los ecosistemas, en general, no suelen estar bien definidos. Normalmente, entre dos ecosistemas existe un área de transición que posee características comunes a ambos, llamada **ecotono**. Es en el ecotono donde suele haber mayor riqueza de especies. Además de las especies de los ecosistemas lindantes, puede haber especies propias del ecotono. Por ejemplo, la zona de encuentro entre la aridez del desierto patagónico y la selva fría de la cordillera andina chilena representa una zona de frondosa diversidad biológica, a nivel genético, de especies y ecosistemas.

### ACTIVIDADES

1. ¿En qué consiste la biodiversidad?
2. ¿Cuáles son los diferentes niveles de biodiversidad?
3. ¿Qué se entiende por biodiversidad genética?
4. ¿Por qué es fundamental el mantenimiento de la diversidad genética para la supervivencia de una población?

## La biodiversidad y las preguntas de la ciencia

Como vimos, existe diversidad biológica a varios niveles, pero ¿cómo se originó la biodiversidad sobre la Tierra? ¿Cómo surgieron todas las especies de animales, vegetales y microorganismos que vemos hoy día? A lo largo de la historia, estas preguntas han sido objeto de grandes debates, y las respuestas se pueden resumir en dos posturas opuestas.

La primera de estas posturas considera que el origen de la biodiversidad radica en el plan y en el diseño de un ser inteligente, superior a todos los seres vivos. Esta postura está relacionada con una visión religiosa, principalmente a partir de la interpretación de textos religiosos, en los que se plantea que todos los organismos son producto de la creación divina y que, desde que fueron creados, se mantienen sin cambio alguno. Este tipo de pensamiento con relación a la biodiversidad se conoce como **creacionismo**, o **fijismo**.

La otra postura es la que considera que la biodiversidad se origina por cambios en los seres vivos. Esta visión, opuesta al fijismo, se llama **evolucionismo**, y plantea que la biodiversidad tiene su origen en el proceso de evolución ocurrido a lo largo de millones de años, a través de procesos exclusivamente naturales, sin intervención de un ser inteligente que lo planeara. De acuerdo con la postura evolucionista, el origen de la biodiversidad es el cambio de las especies, lo que da origen a especies nuevas, incluso las que no están presentes en la actualidad.

LA BIODIVERSIDAD

según los fijistas: se debe a la creación de un ser inteligente

según los evolucionistas: se debe a cambios naturales en los seres vivos a través del tiempo

### Las primeras ideas sobre las transformaciones de los seres vivos

Ya en la Antigüedad, el ser humano notó la enorme diversidad existente de seres vivientes e intentó explicarla. En la Grecia Antigua, la idea de evolución estaba presente. En el siglo V a. C., un filósofo griego llamado Empédocles pensaba que los animales se formaban a partir de las plantas, pero que muchos de ellos no sobrevivían. Si por ejemplo tenían raíces, no eran capaces de moverse en busca de alimento ni de reproducirse, entonces morían. Así explicaba la existencia de animales "exitosos", capaces de sobrevivir en su entorno, ya que los "desajustados" se extinguían. En la actualidad, podríamos considerar que el concepto que Empédocles tenía de los seres vivos era un tanto extraño, sin embargo, debemos observar que esta concepción incluía la noción de que los organismos se transforman.



*El filósofo Empédocles consideraba que los seres vivos se transformaban.*

Otro filósofo griego, Aristóteles (384 a. C.-322 a. C.), creía que la naturaleza estaba organizada por niveles de jerarquía, de lo más simple a lo más complejo, y propuso la teoría de la "Gran cadena del ser": cada tipo de ser vivo ocupaba un lugar fijo en una larga cadena. Por ejemplo, las serpientes estaban en "eslabones inferiores" porque se arrastran por el suelo, mientras que el hombre ocupaba el eslabón superior, debido a su capacidad de pensar. Ningún ser podía transformarse en otro. Esta visión del hombre como superior al resto de los seres vivos fue sin duda muy influyente en los siguientes siglos. De hecho, el postulado de Aristóteles se ajustó a las creencias religiosas de los siglos venideros, según las cuales los diferentes seres vivos que componían el planeta habían sido creados por los dioses y habían existido desde el comienzo de los tiempos; y el hombre era, por naturaleza, la máxima creación divina. Estas ideas fueron aceptadas durante casi 2.000 años sin ser cuestionadas. En el siglo XVIII, el influyente naturalista francés Georges Louis Leclerc, conde de Buffon (1707-1788), admitió que podría existir una transformación de los seres vivos, pero que solo se aplicaba a los estratos más bajos de su escala de clasificación. Buffon distinguía los organismos entre nobles (como el caballo, el hombre, el águila) e innobles (como el burro, el ratón y el conejo) y según esta clasificación, los primeros se mantenían inalterables, mientras que los últimos se transformaban a lo largo de las generaciones. Está claro que el hombre constituía el punto más alto de esta escala de 'nobleza' y que estaba exento de cualquier cambio a lo largo de la historia.



*Representación artística de la Gran cadena del ser, de Aristóteles.*



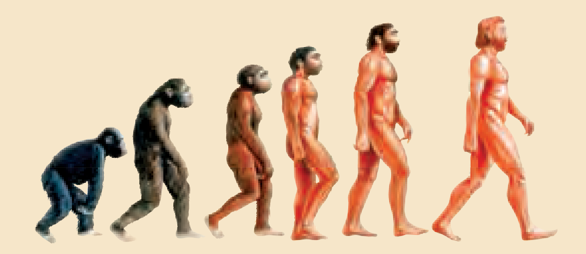
*Buffon agrupaba a los seres vivos en nobles e innobles, los primeros permanecían siempre igual, mientras que los segundos cambiaban.*

## ACTIVIDADES

**1.** Elaboren una definición de "evolución biológica".

**2.** ¿Podría considerarse que las ideas de Empédocles eran evolucionistas? ¿Y las de Aristóteles? Justifiquen sus respuestas.

**3.** Observen la siguiente imagen con la que se suele representar la evolución humana. ¿Qué tiene en común con la visión de Aristóteles? ¿Observan alguna jerarquía?



**4.** ¿Qué pensaba Buffon del cambio de los seres vivos?, ¿le daba un valor positivo o negativo? Justifiquen su respuesta.

## Evidencias de evolución: los fósiles

Los **fósiles** son restos conservados de organismos de épocas antiguas que experimentaron un proceso de mineralización, o petrificación, que los mantuvo hasta la actualidad. Durante la petrificación, la materia orgánica que forma los cuerpos de los seres vivos es lentamente reemplazada por materia inorgánica, por lo que, a lo largo de millones de años, el organismo toma el aspecto de una roca. La mineralización requiere de condiciones especiales, tanto del suelo como del clima; por eso, solo una pequeña fracción de los organismos se fosiliza después de morir. Estas condiciones se dan generalmente en el fondo oceánico y en las orillas, y por eso hay más fósiles de organismos acuáticos que terrestres.




*Esquema que muestra la formación de un fósil.*

Las semejanzas entre especies fósiles y especies actuales constituye una de las pruebas más convincentes del cambio de las especies a través del tiempo, es decir, de su evolución. Una posible explicación de esta similitud es que las especies modernas se hayan originado por cambios en las especies fósiles.

Otra valiosa información que nos brindan los fósiles es que se puede estudiar la secuencia temporal de aparición y extinción de animales y plantas a lo largo de la historia de la vida. La ley de superposición de los estratos plantea que los fósiles más antiguos se depositan antes, y los más modernos, después. Es decir, que en los estratos más profundos del suelo se encuentran los seres vivos más antiguos, mientras que los más modernos están en los estratos superficiales. A esta sucesión de capas o estratos se la conoce como **columna geológica** o **estratigráfica**.

Por otra parte, el descubrimiento de fósiles marinos en lugares de gran altura, como en la cordillera de los Andes, indica que la distribución de los océanos y continentes tuvo cambios importantes a lo largo de la historia de la Tierra.

En resumen, los fósiles no solo son evidencias a favor de los cambios que experimentaron las especies a lo largo de la historia natural, sino que además constituyen una prueba de las transformaciones que sufrió la Tierra desde tiempos remotos.

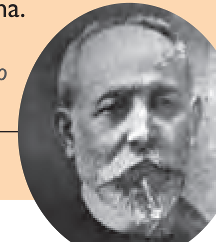


*En este paisaje puede distinguirse la sucesión de estratos geológicos.*

CIENCIA **EN LA HISTORIA**

### Un evolucionista argentino

Pionero de las ideas evolucionistas durante la segunda mitad del siglo XIX en Hispanoamérica, Florentino Ameghino, oriundo de Luján, provincia de Buenos Aires, se dedicó al estudio de los fósiles de grandes mamíferos extintos. Las innumerables campañas realizadas junto a su hermano Carlos les permitieron la identificación y reconstrucción de más de 900 fósiles de la Patagonia y la región pampeana. Fue director del Museo Argentino de Ciencias Naturales "Bernardino Rivadavia" y se lo considera el padre de la paleontología en la Argentina.

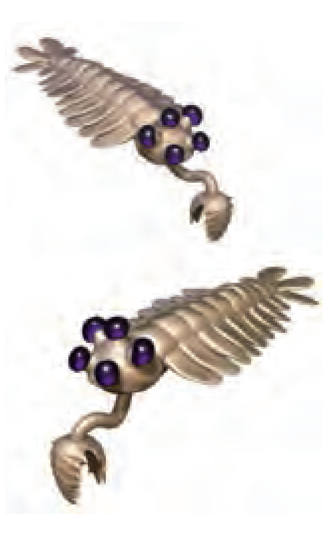


*Florentino Ameghino (1854-1911).*

>> La ciencia en el contexto histórico y cultural.

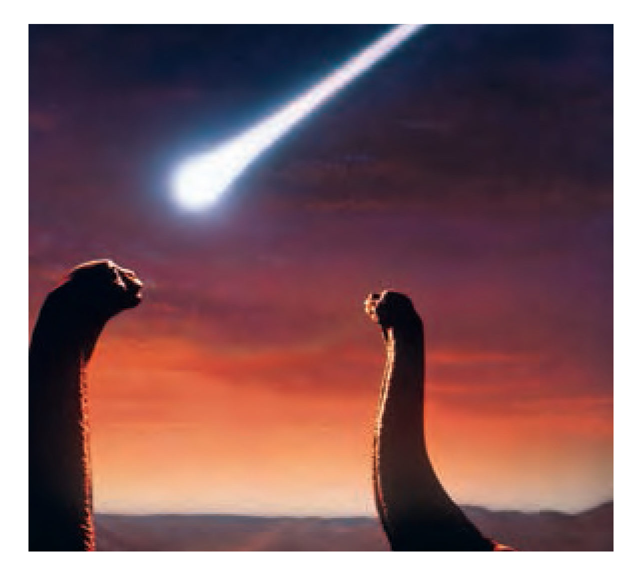
## Los cambios en la biodiversidad

De acuerdo con las estimaciones más recientes, la edad de la Tierra se calcula en unos 5.000 millones de años, las fósiles más antiguos corresponden a rastros de bacterias que habrían aparecido hace unos 3.500 millones de años. Las primeras células eucariotas (que, como se verá en el capítulo 5, son células más complejas que las bacterias) aparecieron 2.000 millones de años más tarde. El origen de los animales multicelulares recién se documenta en el registro fósil hace unos 640 millones de años. En esta época, denominada período cámbrico, se produjo la aparición de una gran variedad de especies en un corto tiempo geológico. Estas especies no solo incluyen a los ancestros de los actuales seres vivos, sino también a muchos tipos de organismos "extraños", sin representación actual, que se han extinguido a lo largo de la historia de la vida. Por ejemplo, un animal llamado *Opabinia* fue un organismo marino con cinco ojos en los extremos de pedúnculos y una larga "trompa", que posiblemente le permitía cazar sus presas. La *Opabinia* formó parte de toda una fauna extinta de organismos marinos sin representación en la actualidad, lo que pone en evidencia que la extinción es un fenómeno frecuente y bien documentado en el registro fósil.



Opabinia *es un animal extinto.*

Cuando se estudia la historia de la diversidad biológica, se puede apreciar que solo una pequeña fracción de las especies que han vivido alguna vez está presente en la actualidad. Las especies actuales representan menos del 0,1% de las especies que han existido a lo largo de la historia de la vida. Esto se debe a que, a lo largo de la historia de la Tierra, se sucedieron grandes cambios que afectaron a los seres vivos. Entre los fenómenos mejor documentados que afectaron a la biodiversidad pasada, se incluyen: las glaciaciones, la actividad volcánica, el avance de los mares sobre los continentes, y el impacto periódico de meteoritos. Todos estos fenómenos, por separado o incluso algunas veces combinados, pudieron ser la causa de los acontecimientos en los que desaparecieron muchísimas especies en breves lapsos de tiempo. Estos se conocen como **extinciones masivas** y en algunas de ellas, desapareció casi la totalidad de las especies del planeta. Las extinciones masivas modifican la biodiversidad no solo por la pérdida de aquellas especies que no tienen la capacidad de ajustarse al cambio ambiental, sino por la expansión de aquellas que sí poseen la habilidad de tolerar las nuevas condiciones.



De acuerdo con evidencias fósiles y geológicas, lo que causó la gran extinción de la mayoría de los dinosaurios fue el impacto de un gran meteorito con la Tierra.

### ACTIVIDADES

1. ¿En qué consistieron las extinciones masivas?
2. ¿Hay algún tipo de organismos que hayan sobrevivido a las distintas extinciones masivas? ¿Cuáles? Investiguen sobre las posibles causas que llevaron a la extinción de la mayoría de las especies de dinosaurios. ¿Quedan dinosaurios vivos? ¿Cuáles?

## La clasificación de los seres vivos en la historia

¿Cómo se pueden clasificar los seres vivos? A lo largo de la historia, esta pregunta ha sido respondida de diferentes maneras. En la Antigüedad, se agrupaba a los organismos de acuerdo a si eran aptos o no para ser ingeridos, enfatizando el valor o perjuicio que tenían para el hombre. Con el tiempo, se empezaron a usar criterios basados en la apariencia, agrupando a todos los que tuvieran un aspecto semejante en un mismo grupo. Aristóteles, en el siglo IV a.C, separó plantas y animales. El reino animal incluía los seres que se desplazaban, comían y crecían hasta un cierto punto; mientras que las plantas no se movían, no comían y tenían un crecimiento indeterminado. En esta clasificación, los hongos y los corales se consideraban dentro del grupo de las plantas.

Los animales también fueron agrupados de distintas maneras a lo largo de la historia, una de ellas fue en animales de "sangre caliente" (mamíferos y aves) y animales de "sangre fría" (reptiles, anfibios, peces, etcétera).




De acuerdo con la clasificación aristotélica, las plantas, los hongos y los corales pertenecían a un mismo grupo.







De acuerdo a un criterio de clasificación que ha sido muy utilizado, las aves y los mamíferos están en un grupo diferente al de los reptiles.



Cuando se empezaron a usar los microscopios para observar a los seres vivos, hubo que incluir a los microorganismos en las clasificaciones. Así, a los reinos de plantas y animales, se incluyeron los reinos protista (organismos unicelulares con núcleo) y monera (organismos unicelulares sin núcleo). En 1969, el botánico estadounidense Robert Whittaker separó a los hongos de las plantas, y elaboró una clasificación de los seres vivos en cinco reinos: *Animalia* (animales vertebrados e invertebrados), *Plantae* (musgos, helechos, coníferas y plantas con flor), *Monera* (bacterias), *Protista* (algas, protozoos y otros microorganismos) y *Fungi* (líquenes y hongos).

Estas agrupaciones, sin embargo, no reflejaban completamente la relación evolutiva entre los distintos grupos: ¿los protistas evolucionaron a partir de las bacterias?, ¿los animales provienen de los protozoos?, ¿los hongos y las plantas tienen un origen común o distinto? Estas preguntas se respondieron cuando se comenzaron a investigar las relaciones evolutivas de los seres vivos.

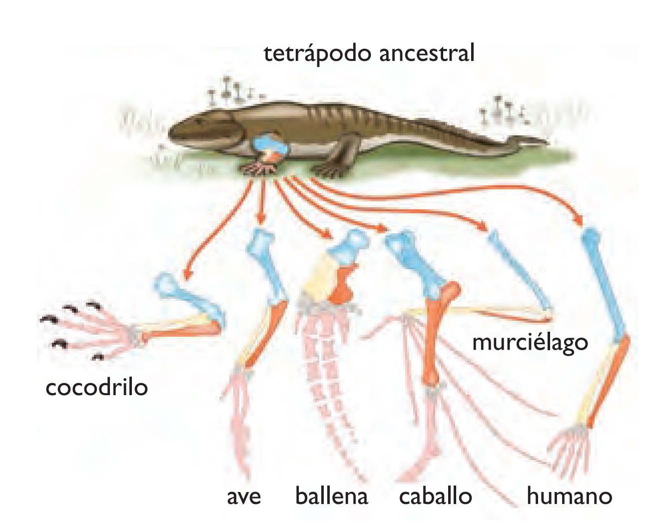



Los 5 reinos, según Whittaker.

## La teoría del ancestro común y la clasificación de los seres vivos

Las aves, los mamíferos, los reptiles y los anfibios tienen patas o extremidades con un esqueleto interno. Esta característica común se debe a que este grupo, el de los tetrápodos, se originó a partir de una única especie. Una especie que evolucionó y dio origen a varios grupos se llama **ancestro común**, y las características que son heredadas del ancestro común (en este caso las extremidades con esqueleto interno) se llaman **homologías**. Por el contrario, hay similitudes aparentes entre diferentes organismos, pero que no fueron heredadas de un ancestro común, a estas características se las conoce como **analogías**. Por ejemplo, las alas de las aves y de los insectos cumplen la misma función, pero tienen distinto origen, ya que estos grupos evolucionaron a partir de ancestros distintos. Estas son estructuras análogas, como ocurre entre las aletas de las ballenas (que son patas modificadas) y las de los peces (que no tienen huesos internos). Las analogías, en general, son adaptaciones de organismos que viven en un mismo hábitat, como por ejemplo el agua.

Muchos de los criterios de clasificación que se usaban antes se basaban en analogías. Las nuevas formas de clasificar los organismos se basan en homologías. Algunas homologías no son características visibles, sino que están en el material genético. Actualmente, se utiliza este tipo de homologías en el material hereditario de los seres vivos para entender cómo están emparentados. Los que comparten un ancestro común forman grupos llamados **monofiléticos** (de un mismo origen evolutivo). Aún entre los organismos menos emparentados, como nosotros y las bacterias, hay material genético en común, lo que revela la existencia de un ancestro común a todos los organismos.




*Las extremidades de los tetrápodos tienen un mismo origen evolutivo, por lo tanto, son estructuras homólogas.*




*Las homologías de los tipos celulares de los seres vivos dieron origen a una categoría mayor a la de reino, los dominios:* Eubacteria *("bacterias verdaderas"),* Archaea *(arqueas o arqueobacterias) y* Eukarya *(eucariotas: protistas, animales, plantas y hongos).*

### **ESTUDIO** DE CASO



¿Qué tenemos en común los humanos con los perros? ¿Y con los cocodrilos? ¿A cuál de estos grupos nos parecemos más? ¿Qué tenemos en común con las bacterias? ¿Qué conclusión pueden sacar con respecto al parentesco de estos grupos?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

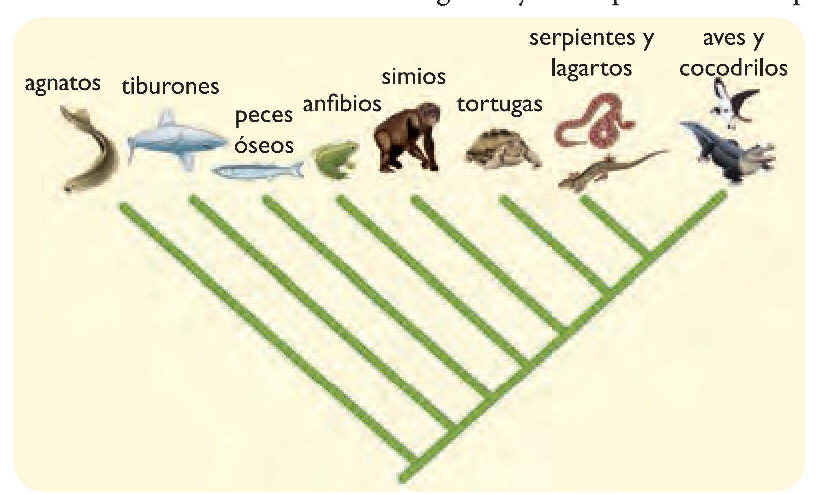
### ACTIVIDADES

1. ¿Qué diferencia hay entre las analogías y las homologías? Den ejemplos.
2. ¿Por qué las alas de los murciélagos y las de los insectos son estructuras anatómicas análogas?
3. ¿Qué utilidad tiene saber si una estructura que comparten dos especies es una analogía o una homología?

## Los árboles filogenéticos

Cuando se representa el parentesco evolutivo de los seres vivos, se arman **árboles filogenéticos**, que representan la diversificación de cada una de las formas de vida a partir de un antepasado común.

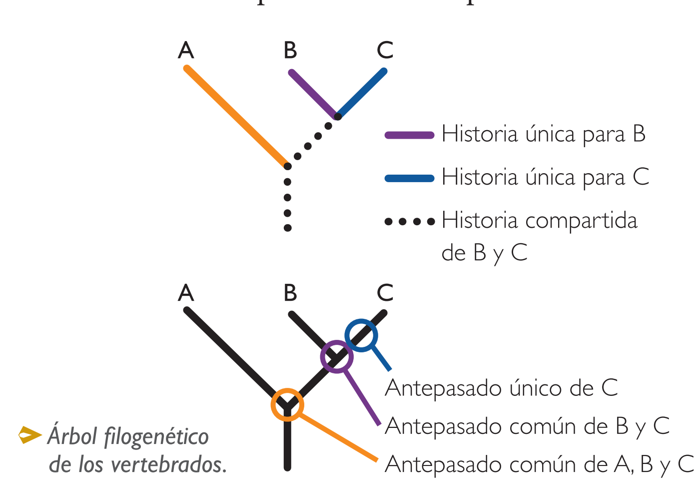
Existen diferentes niveles de parentesco evolutivo, al igual que ocurre en una familia de personas. Los hermanos comparten padres, y están más emparentados que los primos, que comparten un antepasado anterior: los abuelos. A partir del estudio de las homologías, se descubrió, por ejemplo, que los reptiles no son un grupo monofilético, es decir, no provienen de un mismo ancestro. Las tortugas forman un grupo separado, los cocodrilos y las aves están más emparentadas, y este grupo, a su vez, está más emparentado con los lagartos y las serpientes. Por su parte, los mamíferos y todos los reptiles comparten un ancestro común. Por otro lado, teniendo en cuenta a todos los vertebrados, estos presentan mayor número de homologías entre sí que con los invertebrados. Al considerar grupos cada vez más grandes de organismos, es razonable pensar que todos ellos tienen un único y muy lejano origen. Así, es posible construir un árbol de acuerdo con el grupo que se quiera representar o con todos los seres vivos, donde el ancestro común sería el primer ser vivo que habitó en nuestro planeta.






### ¿Cómo se lee un árbol filogenético?

Un árbol filogenético tiene dos elementos principales: las ramas y los nodos. Los nodos representan organismos ancestrales, y las ramas, el tiempo transcurrido entre las especies actuales y los distintos ancestros. Por ejemplo, las ramas de color violeta y azul representan el tiempo transcurrido desde el ancestro que dio lugar a las especies B y C. Lo mismo para la rama naranja que, en este caso, representa el tiempo transcurrido desde la presencia del organismo ancestral que dio origen a las especies A, B y C. Este ancestro está indicado con un círculo naranja en el árbol filogenético y se lo conoce como raíz, ya que corresponde al ancestro de todas las especies estudiadas en este caso. Para interpretar correctamente la información de un árbol, es necesario leer adecuadamente la relación entre las especies actuales a través de sus ancestros comunes.




*Árbol filogenético de los vertebrados.*



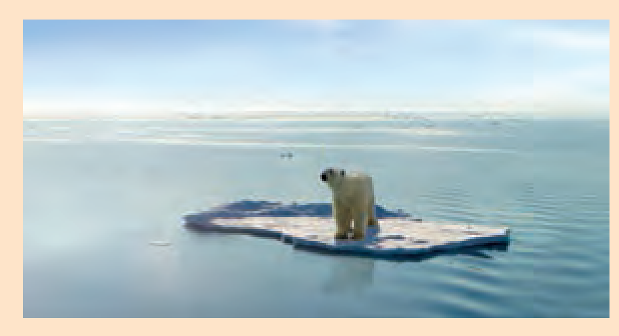


# La sexta extinción

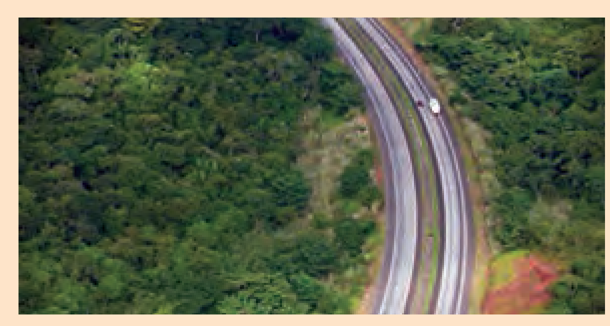
Como se vio en este capítulo, los fósiles son herramientas útiles para investigar en qué momento de la historia de la vida se originó determinado grupo de especies y también para determinar, en caso de que la especie haya desaparecido, cuándo se produjo su extinción. En particular, si en el registro fósil desaparecen conjuntamente una gran cantidad de grupos de especies en un período de tiempo geológico corto, podemos inferir que se trató de una extinción masiva. Las extinciones masivas se caracterizan por una drástica pérdida de la biodiversidad, tanto marina como terrestre. En la historia de la vida en la Tierra, se produjeron cinco grandes extinciones entre las que se destaca la ocurrida hace 250 millones de años, donde desaparecieron la mitad de las familias biológicas marinas y el 70% de las especies terrestres (vertebrados, insectos y plantas). Otra extinción masiva bien documentada y conocida es la que se produjo hace 65 millones años atrás, momento en el que desaparecieron la mayoría de las especies de dinosaurios, entre otros grupos de animales y plantas. Entre los fenómenos naturales que ocasionaron esta pérdida masiva de biodiversidad, se pueden destacar las glaciaciones, la actividad volcánica y el impacto de meteoritos sobre la Tierra.

En la actualidad, se está registrando una marcada reducción en el número de especies. Sin embargo, en contraposición a los fenómenos naturales que afectaron la biodiversidad en el pasado, la presente extinción se debe exclusivamente a procesos generados por acciones humanas. En particular, el calentamiento global generado por la emisión de gases por parte de la industria está llevando a un cambio climático sin precedentes. En este sentido, es importante mencionar que distintos estudios destacan que la mayoría de los organismos (plantas, insectos y vertebrados) tienen una baja tolerancia al aumento de temperatura. La ausencia de variación en la tolerancia a las altas temperaturas pone de manifiesto la posible falta de respuesta evolutiva de la mayoría de las especies frente al aumento de temperatura y, por lo tanto, su fragilidad en vistas al cambio climático. Este escenario no solo indica la posible extinción de muchos grupos de especies como consecuencia del calentamiento global, sino que además el aumento de temperatura podría tener un efecto sobre la distribución de las especies que sobrevivan.

Esta nueva extinción de especies es considerada por muchos autores como la sexta gran extinción en la historia de la vida.



*El calentamiento global está causando graves alteraciones en los ecosistemas y en la biodiversidad.*



*A medida que la población humana crece, modifica los ambientes naturales y altera la vida de las especies que en ellos habitan.*

1. ¿Qué factores causaron extinciones masivas en el pasado?, ¿qué factores están causando una extinción masiva en la actualidad?
2. ¿Qué actividades deberíamos modificar para frenar el cambio climático?
3. ¿Si una especie desaparece es posible que vuelva a originarse en el transcurso de la evolución? Es decir, ¿es reversible la extinción?
4. ¿Todas las especies son intolerantes al aumento de temperatura? Investiguen qué ocurre con las arqueas.

» La ciencia en relación con la tecnología, la sociedad y el ambiente.

# ¿Siempre hubo igual cantidad de especies en el planeta?

En este taller les proponemos ponerse en la piel de un paleontólogo, no para ir al campo a recolectar fósiles, sino para analizar un gráfico con datos acerca de la riqueza de especies a lo largo de la historia de la vida en la Tierra. En este caso, se representa el número de familias, que son grupos de géneros, los que, a su vez, son grupos de especies. El número de familias es más fácil de estimar a partir de los fósiles, ya que muchas veces las características que distinguen un género de otro no se conservan.

[**HIPÓTESIS** DEL TALLER] La riqueza de especies no se modificó durante el transcurso de la historia natural.

[**PREDICCIÓN**] No existe variación en el número de especies en las distintas etapas geológicas.

[**MATERIALES**] Gráfico que representa el número de familias de organismos en función del tiempo geológico (millones de años atrás) * papel cuadriculado * lápiz * regla * calculadora.

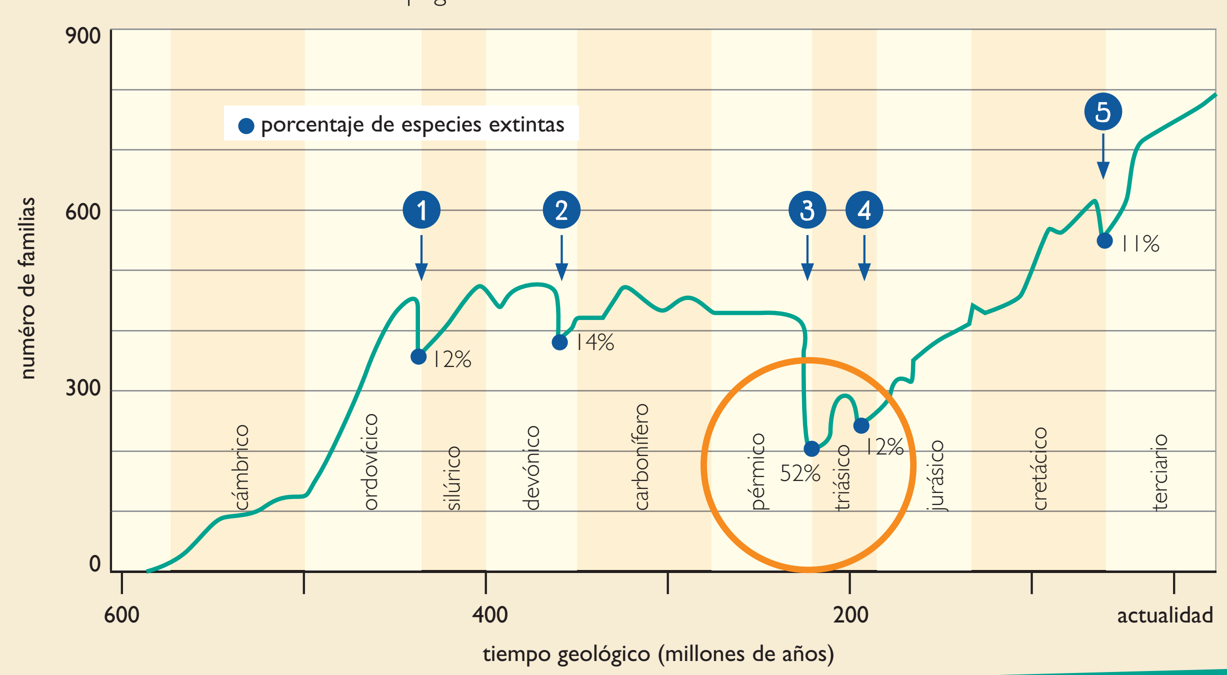
[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Reúnanse en grupos de 5 personas.

**2.** Por grupo, observen el gráfico que se muestra en esta página.

**3.** Identifiquen los períodos de aumento y disminución de la riqueza de especies.

**4.** Calculen el número de especies extintas en cada una de las extinciones. (Para ello, tienen el dato del porcentaje y la cantidad de especies en el eje vertical). Vuelquen los datos en una tabla como la de la página 31.



| Puntos destacados | N.º estimado inicial de familias | N.º estimado de familias extintas | N.º estimado final de familias |
|---|---|---|---|
| 1 | | | |
| 2 | | | |
| 3 | | | |
| 4 | | | |
| 5 | | | |

## [RESULTADOS]

**1.** ¿Qué representan los puntos 1, 2, 3, 4 y 5 del gráfico?
**2.** ¿Cuántas familias de especies desaparecieron en cada extinción?
**3.** ¿Qué representa la zona dentro del círculo?
**4.** Más allá de las extinciones masivas, ¿cuál es la tendencia global de la biodiversidad desde el cámbrico?
**5.** ¿Aceptaron la hipótesis? ¿Y la predicción?
**6.** Algunas de las extinciones producidas a lo largo de la historia de la Tierra fueron graduales, mientras que otras, como la del final del cretácico, fueron bruscas o catastróficas.
**a.** ¿Cómo puede explicarse que unas extinciones sean instantáneas (en términos geológicos) y otras progresivas?
**b.** ¿Influyen esos tipos de extinción en el volumen de especies que desaparecen?





## ACTIVIDADES

**1.** ¿A partir de qué evidencias fue construido el gráfico que analizaron? ¿Por qué las cifras son estimadas y no reales?

**2.** ¿Por qué creen que el gráfico comienza a partir de los 600 millones de años de antigüedad? ¿Había especies antes? Comenten si existen organismos de los cuáles es muy difícil estimar su diversidad en el pasado. Expliquen cuáles son y por qué sucede esto.

**3.** ¿Cómo creen que hicieron esa estimación?

**4.** Investiguen acerca de los eventos que causaron cada una de las 5 extinciones masivas.

**5.** A partir de los siguientes datos, elaboren un gráfico similar al que analizaron. ¿Qué pondrían en el eje vertical?, ¿y en horizontal? ¿Cómo analizarían estos datos? Postulen una hipótesis a partir de lo analizado.

| Altura del terreno (en metros sobre el nivel del mar) | Número de especies |
|---|---|
| 2.000 | 35 |
| 2.200 | 30 |
| 2.400 | 37 |
| 2.600 | 42 |
| 2.800 | 20 |
| 3.000 | 45 |
| 3.200 | 40 |
| 3.400 | 30 |
| 3.600 | 20 |

## ESTUDIO DE CASO

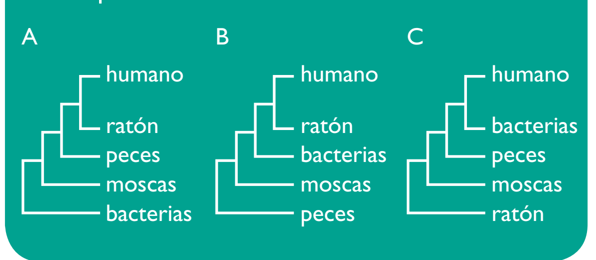


Existen distintos grados de parentesco entre las especies que viven y que vivieron en la Tierra. Como vimos en este capítulo, la manera en la que se pueden determinar las relaciones filogenéticas entre las especies es analizando las características que comparten, determinando si estas son o no homologías, es decir, el resultado de haber evolucionado a partir de una misma especie o grupo de especies.

Los humanos pertenecemos al grupo de los mamíferos que, a su vez, forma parte del grupo de los tetrápodos, que son un tipo de vertebrados, que a su vez son animales y así sucesivamente, hasta que llegamos a la conclusión de que los humanos somos seres vivos. De acuerdo con la teoría del ancestro común (y con la teoría celular, que se estudiará en el capítulo 5), todos los seres vivos provenimos de un único ancestro común a partir del que evolucionaron el resto de las especies.

La forma de representar gráficamente las relaciones filogenéticas entre las especies son los árboles filogenéticos.

**1.** Entre los árboles filogenéticos que se presentan a continuación, elijan el que refleje la lejana relación evolutiva entre las bacterias y el ser humano. Luego, indiquen en el árbol elegido el ancestro común a todos los seres vivos. Justifiquen su respuesta.




**2.** **¿Qué es la biodiversidad? ¿Qué tipos de biodiversidad se pueden considerar? Expliquen en qué consiste cada uno de ellos.**

**3.** **¿Cuáles fueron las explicaciones acerca del origen de la biodiversidad a lo largo de la historia?**

- **a.** ¿Cómo se pueden agrupar estas explicaciones?
- **b.** ¿Cuál es la explicación avalada por la ciencia actualmente?

**4.** **Observen las siguientes imágenes. Agrupen los elementos de acuerdo a los siguientes criterios: color, función; material (plástico o fibras plásticas, materia de origen vegetal).**



A. pantalón de algodón



B. remera de algodón



C. juguete de plástico

D. juguete de madera



E. campera de fibras plásticas



F. silla de madera

- **a.** ¿Cuál de los criterios utilizados consideran que es más útil para ubicar esos objetos en una casa? ¿Y para entender su origen? ¿Por qué?
- **b.** ¿Cuál de los criterios le es más útil a una persona que es alérgica a las fibras plásticas?
- **c.** Escriban un breve texto en el que expliquen la importancia de clasificar y en qué consiste un criterio de clasificación.

**5.** **Mencionen diferentes formas de clasificar a los seres vivos.**

- **a.** ¿Qué criterio de clasificación se usa actualmente?
- **b.** ¿Qué utilidad tenía el criterio con base en el beneficio o el perjuicio de las especies para el hombre?

**6.** **Un laboratorio farmacéutico está interesado en encontrar una sustancia para elaborar un medicamento que pueda curar una grave enfermedad. Saben que esta sustancia estaba presente en plantas que ya están extintas, pero tienen ejemplares disecados de estas plantas en las que se puede apreciar muchas de sus características. Deciden enviar a la selva a un especialista en clasificación filogenética de plantas, para encontrar la sustancia buscada.**

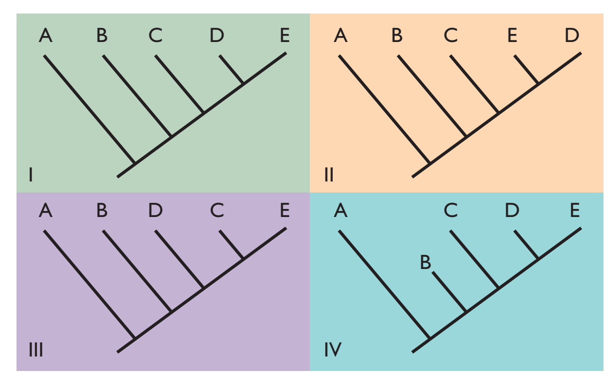
- **a.** ¿Cómo deberá proceder el especialista para tratar de encontrar una planta que le pueda ser útil?
- **b.** Qué espera el investigador, ¿que la sustancia encontrada sea una característica análoga u homóloga? ¿Por qué?

**7.** **¿Qué importancia tienen los fósiles para entender el origen de la biodiversidad?**

- **a.** ¿Qué es una columna estratigráfica y qué se puede conocer mediante su estudio?
- **b.** ¿Por qué pueden encontrarse fósiles de organismos marinos en altas montañas como los Andes? ¿Qué información sobre la historia de la vida y de la Tierra aporta esta evidencia?

**8.** Observen los siguientes árboles filogenéticos e indiquen cuáles dan exactamente la misma información. Expliquen por qué.

**a.** ¿En qué se diferencia el diagrama IV del resto? ¿Qué sucede en este caso con la especie B?




**9.** ¿Qué nos indican las estructuras vestigiales (sin función actual, pero que se mantuvieron durante la evolución de un ser vivo), como las pequeñas "patas" de las aletas de las ballenas?

**10.** A partir de los siguientes datos que indican el porcentaje de material genético que coincide con el de los humanos, armen un árbol filogenético que vincule al ser humano con las especies mencionadas.
a. Levadura (*Saccharomyces cereviceae*): 31% de coincidencia; gusano (*Caenorhabditis elegans*): 40% de coincidencia; chimpancé (*Pan troglodytes*): 99% de coincidencia.

**11.** Luego de haber leído este capítulo, ¿qué aprendieron acerca de la biodiversidad?

**12.** Vuelvan a responder a las preguntas del comienzo del capítulo. ¿Coinciden sus respuestas nuevas con las que dieron originalmente? ¿En qué cambiaron?

**13.** ¿Qué tema les interesó más? ¿Por qué?

**14.** ¿Qué tema no entendieron? ¿Sobre cuál les gustaría seguir leyendo?

## [RED CONCEPTUAL]

BIODIVERSIDAD
- se considera a distintos niveles:
  - Entre individuos (genética)
  - De especies
  - De ecosistemas
- los seres humanos tratamos de → Organizarla
  - esto implica la → Clasificación de los seres vivos
    - Por su relación con el ser humano
      - por ejemplo → • Si se pueden comer • Si hacen daño
    - Por las similitudes aparentes
      - es decir → Analogías
        - por ejemplo → • Capacidad o no de trasladarse • Aletas • Regulación de la temperatura del cuerpo (sangre caliente)
    - Por sus relaciones evolutivas
      - es decir → Homologías
        - por ejemplo → • Miembros con esqueleto interno • Presencia de mamas • Células eucariotas (con núcleo)
        - a partir de las que se construyen → Árboles filogenéticos
      - por provenir de un → Ancestro común
- se explicó bajo distintas teorías
  - según la postura → Evolucionista
    - se debe a la → Transformación de los seres vivos
      - a partir de un → Ancestro común
  - según la postura → Fijista
    - se debe al → Plan y creación de un ser inteligente

Contenidos: Interrogantes acerca de los cambios en los seres vivos • La teoría de Lamarck • Las evidencias de Darwin • El viaje en el Beagle • La teoría de la selección natural • Darwin y el origen de la vida • Darwin y Wallace • Darwin y la herencia biológica • El neodarwinismo • Lamarck vs. el neodarwinismo

# 2
# Las teorías acerca de la evolución



# [ESTUDIO DE CASO]



## Preguntas encontradas en un afluente del río Luján

En la época en la que éramos una colonia española gobernada por el virrey Loreto, en un arroyo tributario del río Luján, los pobladores descubrieron una enorme y llamativa osamenta. Los huesos, empaquetados y enviados a España, fueron montados para su exhibición. Un grabado del ejemplar llegó a las manos de uno de los más destacados naturalistas de la época. Le bastó un vistazo al joven George Cuvier, en París, para darse cuenta de que se trataba de un colosal y extraño perezoso, sin duda ya extinto.

La idea misma de la extinción era extraña a fines del siglo XVIII, de hecho, se consideraba razonable pensar que las especies de animales y de plantas que vemos hoy en día habían existido por siempre en una superficie terrestre sin cambios en su larga historia. Lo que hay siempre hubo, pensaban. Pero George Cuvier, inspirado por los fósiles sudamericanos, se dispuso a buscar otros animales extintos y los encontró en grandes cantidades en los alrededores de París. Vislumbró, por primera vez, que la Tierra había albergado faunas enteras completamente diferentes a las actuales. Había descubierto que nuestro planeta tiene una historia, y que esa historia puede estudiarse analizando los fósiles que este encierra.

Cuvier creía que una sucesión de catástrofes naturales destruían una y otra vez la fauna existente, y nuevos seres vivos eran creados para reemplazarla. Un colega de Cuvier, Jean Baptiste de Lamarck, tenía una respuesta diferente. Para él, las formas que veían en los fósiles eran el testimonio de que estos se transformaban. Esta discusión continuó por muchos años, y los interrogantes acerca de los organismos extintos y los organismos existentes en la actualidad fueron las razones ardientes que llevaron a Charles Darwin a estudiar el misterio de los misterios: la evolución.

Así como la vida en la Tierra parece haber ido cambiando, también las ideas sobre la evolución han ido cambiando y evolucionan a partir de ideas y concepciones anteriores.

* Investiguen qué otros fósiles de seres vivos extintos se han encontrado en la Argentina.
  - **a.** Busquen imágenes de estos fósiles.
  - **b.** ¿Se parecen a especies actuales que conozcan?
* ¿Por qué consideran que es importante entender que la Tierra cambia para comprender la idea de la evolución?
* ¿La pregunta de "cómo fueron cambiando los seres vivos a lo largo de la historia de la Tierra" se puede responder con un experimento? ¿Por qué?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

## Las preguntas de Darwin

*Retrato de Charles Darwin a los 8 años. Desde muy joven mostró un gran interés por la naturaleza.*

Los científicos intentan responder a preguntas. A veces, estas preguntas son planteadas por ellos mismos, otras veces, son preguntas que se hace la sociedad en la que viven. Para intentar responder a todas estas preguntas, los investigadores recurren a diversas herramientas y estrategias. En algunos casos realizan experimentos y en otros, hacen observaciones. El naturalista inglés Charles Darwin (1809-1882) no fue la excepción. ¿Cuáles fueron las preguntas que intentó responder? Darwin pasaba mucho tiempo recolectando insectos y diversos especímenes. Los observaba en detalle, los comparaba y los coleccionaba. Esta actividad, en la que pasaba muchas horas del día, lo llevó a preguntarse acerca de los cambios en los seres vivos: ¿los organismos han sido siempre así o cambian con el tiempo? No se refería a los cambios durante la vida de un individuo, como ocurre con muchos insectos, que nacen de un huevo como larvas, luego permanecen en un capullo y emergen con alas. Estos cambios estaban bien analizados ya por este meticuloso observador, pero no eran los que le preocupaban. Lo que Darwin se preguntaba, como muchos lo hicieron, es si generación tras generación, los seres vivos son siempre iguales. Esta fue la primera pregunta que se hizo Darwin, y la más importante.

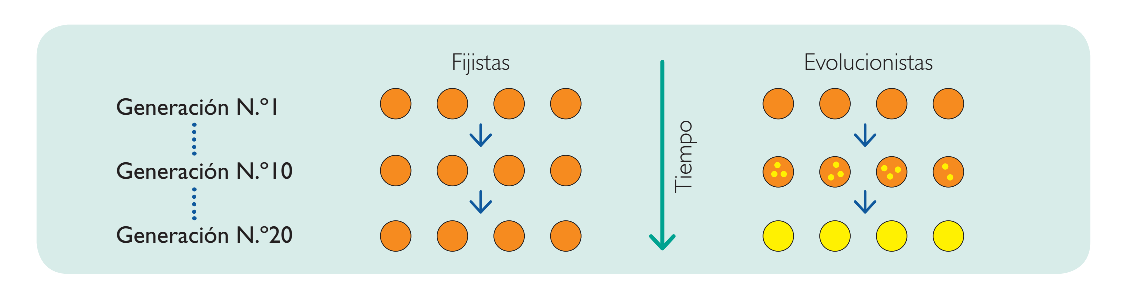


*Darwin era un meticuloso observador y coleccionista de insectos.*

Pero antes que Darwin, otros naturalistas ya se habían hecho la misma pregunta y habían formulado distintas respuestas. Muchos, como vimos en el capítulo anterior, propusieron diferentes respuestas a esta pregunta. Los **fijistas** sostenían que los seres vivos no cambian, que generación tras generación permanecen siempre iguales, que las características de los organismos son fijas a lo largo del tiempo. En la época que vivió Darwin, el fijismo aún era una posición defendida por algunos investigadores. Los **evolucionistas**, por otra parte, señalaban que los seres vivos han cambiado a través del tiempo. Esta corriente abarcaba también al planeta Tierra; estos naturalistas consideraban que el planeta está en constante cambio.

Antes que Charles Darwin, hubo otros naturalistas que sostenían que los organismos se transforman a lo largo de las generaciones. Entre ellos se destaca el abuelo de Charles, Erasmus Darwin.

Uno de los que sostenía que los seres vivos cambiaban fue el francés Jean Baptiste de Lamarck (1744-1829), quien vivió casi cien años antes que Charles Darwin.




*En este esquema se representan de forma sencilla las teorías fijistas y evolucionistas acerca de las poblaciones de seres vivos.*

## La teoría de la evolución de Lamarck

Lamarck también era un naturalista, trabajaba como investigador y profesor en el Museo Nacional de Historia Natural de Francia, observando el aspecto externo e interno de muchos animales, en especial de los "sin esqueleto", a los que llamó por primera vez invertebrados. Sus observaciones lo llevaron a elaborar una teoría sobre cómo cambian los seres vivos a lo largo del tiempo. Él partía del supuesto de que todos los seres vivos poseen un impulso interno para alcanzar la "perfección", con relación al ambiente en el que viven. Según él, al producirse un cambio ambiental, todos los individuos son capaces de cambiar para adaptarse a la modificación. Por lo tanto, el cambio se producía en cada individuo, y todos son capaces de transformarse para sobrevivir. Lamarck decía que estas nuevas características que los individuos de una especie adquieren para adaptarse al ambiente son transmitidas luego a su descendencia (es decir, que eran heredadas) y, a lo largo de muchas generaciones, dan origen a una nueva especie.

Veamos un ejemplo para entender la teoría de la herencia de los cambios adquiridos. De acuerdo con Lamarck, debió de haber ocurrido un cambio en el ambiente en el que los lagartos que dieron origen a las serpientes actuales, por ejemplo, hayan tenido que empezar a reptar, en lugar de usar sus patas. En los individuos, las patas comenzaron a atrofiarse (achicarse). Si un individuo con patas atrofiadas tenía crías, estas nacían también con las patas más cortas, ya que heredaban este cambio adquirido por sus padres. Esto pasaba generación tras generación hasta que los individuos nacían sin patas en absoluto, con aspecto de serpientes.

CIENCIA **EN LA HISTORIA**



### Evolución y revolución

En Francia, a fines del siglo XVIII, el pueblo se estaba volviendo en contra del sistema monárquico. Este sistema se basaba en la idea fijista de que los gobernantes eran designados por voluntad divina y en que solo podían gobernar aquellas personas que hubieran nacido en una familia de la realeza. La monarquía francesa vio en el pensamiento de Lamarck una amenaza. Lo asociaba estrechamente con el pensamiento de la revolución, debido a que según esta teoría, todos los individuos podían superarse y mejorar y, en consecuencia, todos tendrían la capacidad de gobernar.

» La ciencia como construcción histórica y cultural.

La teoría evolutiva de Lamarck tuvo que enfrentarse al fijismo, representado entonces por Georges Cuvier, quien integraba un grupo de naturalistas muy reconocidos y cercanos al gobierno francés de la época. Esta oposición y ciertas características de la personalidad de Lamarck, como su timidez, contribuyeron a que su teoría quedara desacreditada por varios años.

## ACTIVIDADES

1. ¿En qué ocupaba Darwin su tiempo? ¿Cómo creen que influyó esta actividad en las preguntas que quiso responder?
2. ¿En qué consiste el fijismo?, ¿y el evolucionismo? ¿A qué corriente de pensamiento pertenecía Lamarck?
3. Los insecticidas cada vez son menos eficaces para matar cucarachas. Estas parecen volverse inmunes a estos venenos generación tras generación. Expliquen este fenómeno usando la teoría de Lamarck.




*Mecanismo de evolución de las serpientes de acuerdo con la teoría de Lamarck.*

## ¿Los cambios adquiridos se heredan?

Al intentar responder la pregunta acerca del cambio de los seres vivos, Lamarck sostuvo que sí lo hacen y, además, propuso un mecanismo posible por el cual se produce este cambio. Pero, como cualquier teoría, este mecanismo puede ser cuestionado. Se plantea así una nueva pregunta a raíz de la explicación de Lamarck: ¿Pueden transmitirse a la descendencia todos los cambios que un individuo adquiere durante su vida?

Imaginen un experimento en el que puedan poner a prueba esta hipótesis. ¿Qué sucede si modificamos, por ejemplo, un grupo de individuos de una población de ratones? ¿Todos los cambios se verán en las crías de esos individuos?

### EXPERIMENTOS EN PAPEL



**¿Se transmiten a los hijos todos los cambios adquiridos?**

HIPÓTESIS: todos los cambios que sufre un organismo en su vida pasan a sus hijos.

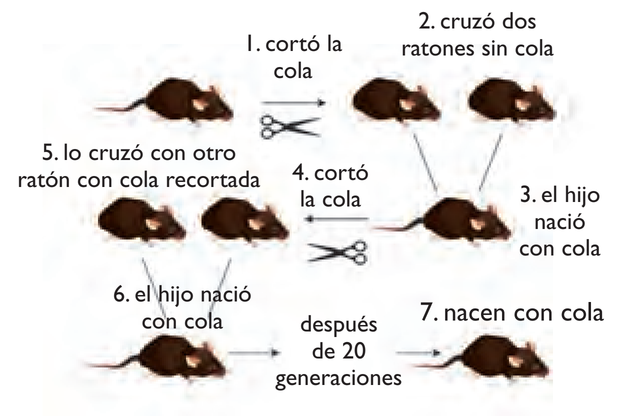
PREDICCIÓN: si se le corta la cola a una pareja de ratones, sus hijos nacerán sin cola.

PROCEDIMIENTO: se le cortó la cola a una cierta cantidad de parejas de ratones y se esperó a que se reprodujeran. Luego, se observó el largo de la cola de sus descendientes.

Este procedimiento se repitió por 20 generaciones de ratones.

RESULTADOS: los ratones hijos tenían la cola larga, no habían heredado el cambio adquirido durante la vida de sus padres. Esto se observó en todas las generaciones de ratones a los que se les realizó el procedimiento.

CONCLUSIÓN: no todos los cambios que sufre un organismo durante su vida se transmiten a sus hijos. La hipótesis es rechazada.




*A pesar de que los padres tenían la cola corta, los ratones nacían con la cola larga.*

» Análisis de datos experimentales.

Si bien el mecanismo propuesto por Lamarck es rechazado por la ciencia actual, fue una idea revolucionaria. Incluso, la idea que mucha gente tiene de la evolución es básicamente lamarckiana, ya que tendemos a creer que las características adquiridas son transmitidas a los hijos. Sin embargo, vemos constantemente casos que contradicen la teoría de Lamarck. Si una persona se tiñe el pelo, sus hijos no nacerán con el color de pelo de la tintura, por ejemplo.



*Por más que una persona se ejercite y agrande sus músculos de forma extrema, esto no producirá que sus hijos tengan esta musculatura cuando sean adultos si no hacen suficiente ejercicio para lograrlo.*

## Darwin y sus evidencias

Darwin llegó a la misma conclusión que Lamarck acerca de los seres vivos: estos cambian en el tiempo, evolucionan. Obtuvo esta respuesta gracias a su cualidad de observador y a una serie de evidencias que recolectó a lo largo de su vida.

El registro fósil fue una de las evidencias más importantes. Fue interpretado por Darwin como una prueba de la presencia de organismos en épocas pasadas, antecedentes de los que hoy en día vemos. Otras personas ya habían analizado los fósiles, pero no los veían como una evidencia de cambio. Es el caso de Georges Cuvier, un contemporáneo a Lamarck que era defensor del fijismo. Cuvier no veía transformación en el registro fósil, decía que luego de grandes cataclismos en el planeta, todos los seres vivos que Dios había creado desaparecían y luego, Dios creaba nuevos organismos.



*Al observar el registro fósil, Darwin concluyó que los seres vivos se transforman en el tiempo.*

Pero Darwin coleccionó mucha más evidencia a favor de la evolución. Observó las modificaciones que los humanos realizan de animales y de plantas para su propio provecho. Este tipo de selección fortaleció la idea de que los seres vivos podían ser objeto de cambios.

Un tercer tipo de evidencia de Darwin fue la comparación entre los seres vivos. De hecho, si observamos con cierta atención, veremos que las comparaciones entre los seres vivos arrojan gran cantidad de semejanzas y de diferencias. Por ejemplo, podemos centrarnos en la cantidad de extremidades. Así, encontramos cuatro extremidades en los vertebrados, seis en los insectos y ocho en los arácnidos. Estas semejanzas dentro de cada uno de los grupos son interpretadas desde la teoría de Darwin como una muestra de que dichos seres vivos poseen ancestros comunes a partir de los que evolucionaron.

Este conjunto de evidencias fue un gran apoyo a la propuesta de Darwin acerca del cambio de los seres vivos a través del tiempo. Pero si Lamarck estaba equivocado en su propuesta del cambio por la transmisión de caracteres adquiridos, ¿cómo evolucionan los seres vivos? La respuesta de Darwin a esta pregunta es uno de los pilares de la biología.

**ESTUDIO** DE CASO



¿Por qué consideran que ante la misma evidencia fósil, Cuvier y Darwin concluían cosas distintas? ¿Cómo influye la corriente de pensamiento de cada uno de estos naturalistas en esta conclusión?

» Describir y explicar fenómenos biológicos a partir de teorías y de observaciones personales.





*Las arañas y los insectos tienen exoesqueleto, pero las arañas tienen ocho patas, y los insectos, seis. Para Darwin, estos dos grupos debían de haber evolucionado de un ancestro común y acumulado distintos cambios hasta diferenciarse.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué demuestra el experimento de las colas de los ratones? ¿Qué otros ejemplos de la vida cotidiana sirven para rechazar la hipótesis de la herencia de los caracteres adquiridos?
2. ¿Cuáles fueron las razones por las que fue desacreditada la teoría de Lamarck? ¿Qué factores influyeron en este descrédito?
3. ¿Qué evidencias llevaron a Darwin a la conclusión de que los seres vivos cambian con el tiempo?

## El viaje de Darwin

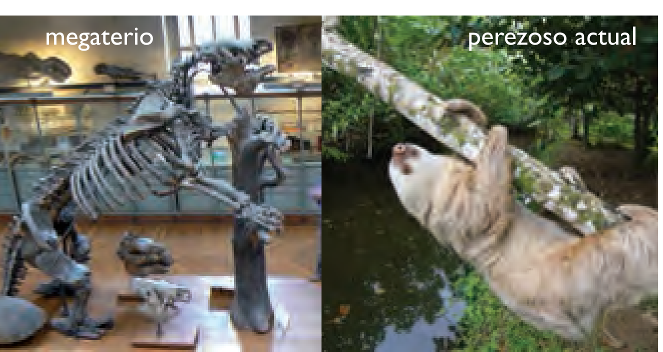
Mucho antes de que Darwin reflexionara acerca de los mecanismos de la evolución, vivió una experiencia que lo transformó como hombre y como naturalista: realizó un viaje en barco por las costas de América de Sur, que le dio la posibilidad de observar seres vivos y fósiles de otro lugar del planeta.

Charles Darwin, a sus 22 años, zarpó desde Inglaterra, el 27 de diciembre de 1831, a bordo del HMS Beagle, un barco de la corona británica que tenía por objetivo realizar un relevamiento para confeccionar mapas para el gobierno británico. El viaje duró 5 años, durante los cuales el joven naturalista encontró ambientes lejanos muy parecidos entre sí y descubrió que existen especies que comparten muchas características, pero con algunas diferencias.

*Darwin cazó individuos de distintas variedades de pinzones y los sumó a su colección.*

El barco bordeó varias veces la costa argentina. En Punta Alta, provincia de Buenos Aires, Darwin halló fósiles de gliptodontes (similares a armadillos gigantes) y de megaterios (perezosos gigantes), entre otros. Darwin no encontró ningún ejemplar de alguno de estos animales vivo de tamaño semejante, pero sí identificó armadillos y perezosos de muchísimo menor tamaño durante su viaje. Supuso entonces que las especies pertenecientes a los fósiles fueron cambiando lenta y gradualmente a través de muchas generaciones, hasta originar las especies más pequeñas.




*La similitud entre los fósiles de seres vivos extintos de gran tamaño y algunos animales vivos de América del Sur llamó mucho la atención de Darwin.*



*El HMS Beagle recorrió, entre otras, las costas de nuestro país. En esta pintura se lo representa pasando por Tierra del Fuego.*

Al arribar a las islas Galápagos, su parada más famosa, Darwin notó que cada isla tenía una especie diferente de pinzón (un ave pequeña) adaptada a un tipo de alimentación, y que, a su vez, todas estas especies eran diferentes a las de la costa del continente, a unos 960 km de distancia.

Charles Darwin regresó a Inglaterra a los 27 años, en 1836, con su diario de viaje y mucha de la evidencia que le sirvió para responder a su pregunta acerca del cambio de las especies. Pasaron más de 20 años hasta que publicó sus conclusiones. Durante esos años, analizó los especímenes que trajo de su viaje y sus anotaciones. Todos estos elementos lo ayudaron a construir una nueva teoría acerca del mecanismo de la evolución.

## Una nueva teoría para explicar la evolución

Para Darwin, la evolución ya estaba probada. La nueva gran pregunta que Darwin quería responder era: "¿Cómo se producen estos cambios?". Se preguntaba cuál era la "fuerza" que impulsaba la evolución y sobre qué actuaba esa "fuerza".

Como se vio al principio del capítulo, para Darwin, una de las pruebas de que los seres vivos cambian era la selección que hacen los humanos de distintos organismos domésticos. Por ejemplo, un granjero que cría vacas para obtener leche tiene distintas vacas. Todas comen lo mismo, duermen en el mismo lugar, tienen los mismos cuidados, pero algunas vacas dan mucha más leche que otras. El granjero elige esas vacas para que tengan cría. De las hijas de estas vacas, nacieron una gran mayoría de vacas que también producen mucha leche. Sin embargo, algunas hijas producen una cantidad normal de leche. El granjero repite el procedimiento de la cruza anterior: hace tener cría solo a las vacas que dan más leche. Al cabo de unos años, todas las vacas del granjero resultan ser excelentes productoras de leche. Su población de vacas ha cambiado.



*La cría de animales domésticos y de ganado le dio a Darwin la pista de cómo podrían evolucionar las especies en la naturaleza.*

A Darwin, esta idea de que "algo" seleccione a ciertos individuos de una población, de forma tal que estos individuos tengan más probabilidades de reproducirse, le parecía una buena forma de explicar los cambios a lo largo de las sucesivas generaciones de seres vivos. Pero los seres vivos que comparten nuestro planeta han cambiado durante millones de años sin la intervención humana. ¿Qué es lo que en condiciones naturales promueve el cambio? La respuesta no vino de la biología, sino de un economista.



### El ensayo de Malthus

Los historiadores sostienen que, en un momento de distracción de su ardua tarea de elaborar una teoría de la evolución, Darwin se puso a leer un ensayo que el demógrafo Thomas Malthus había escrito en 1798. En este artículo se planteaba que la población mundial estaba creciendo a una tasa mucho mayor que los recursos para alimentarla, y que esto ocasionaría, según este economista, una lucha entre las personas por la subsistencia. Con el tiempo, esta idea fue desacreditada, ya que la humanidad cuenta con la tecnología como para administrar los recursos. Pero a Darwin le dio la clave que necesitaba: los recursos en la naturaleza son limitados, y los individuos luchan para conseguirlos; aquellos que tengan las características que les permitan tomar esos recursos con más eficiencia tienen más probabilidad de sobrevivir y de reproducirse. Este es el fundamento de la teoría de Darwin sobre la evolución.



*La Teoría de Robert Malthus (1766-1834) fue desacreditada como una teoría aplicable a la humanidad, incluso por Darwin; sin embargo, el naturalista encontró en ella una clave para elaborar su teoría sobre la evolución.*

### ACTIVIDADES

**1.** Expliquen brevemente cómo influyó el viaje de Darwin en el Beagle en su pensamiento sobre la evolución.

**2.** ¿Fue suficiente el material que recolectó Darwin en este viaje para que pudiera entender de qué forma evolucionan los seres vivos? ¿Qué otros factores influyeron en la elaboración de su teoría? ¿De qué forma?

**3.** Darwin era un habilidoso cazador, eso hizo posible que recolectara varios pinzones. ¿Sería aceptada esta práctica por la comunidad científica actual? ¿Por qué?

## La evolución por selección natural

Luego de analizar las evidencias, de tener en cuenta la cría de animales domésticos y de leer el artículo de Malthus, Darwin elaboró su teoría sobre el mecanismo por el cual se produce la evolución: la selección natural.

¿Qué características tiene este mecanismo? Así como el ser humano hace una selección artificial de los individuos de su ganado, en la selección natural, lo que ejerce esa fuerza selectiva es el ambiente. Ante un cambio en el ambiente, son “elegidas” determinadas características de los individuos en una población determinada (por ejemplo, un color, un tamaño, un comportamiento determinado, etcétera). Los individuos que tengan dichas características podrán sobrevivir y reproducirse, dejando descendencia. Mientras que a los individuos que no tienen esas características les será más difícil sobrevivir y reproducirse. Por lo tanto, no dejarán descendencia o lo harán en menor proporción que los que tienen las características ventajosas para afrontar el cambio en el medio.

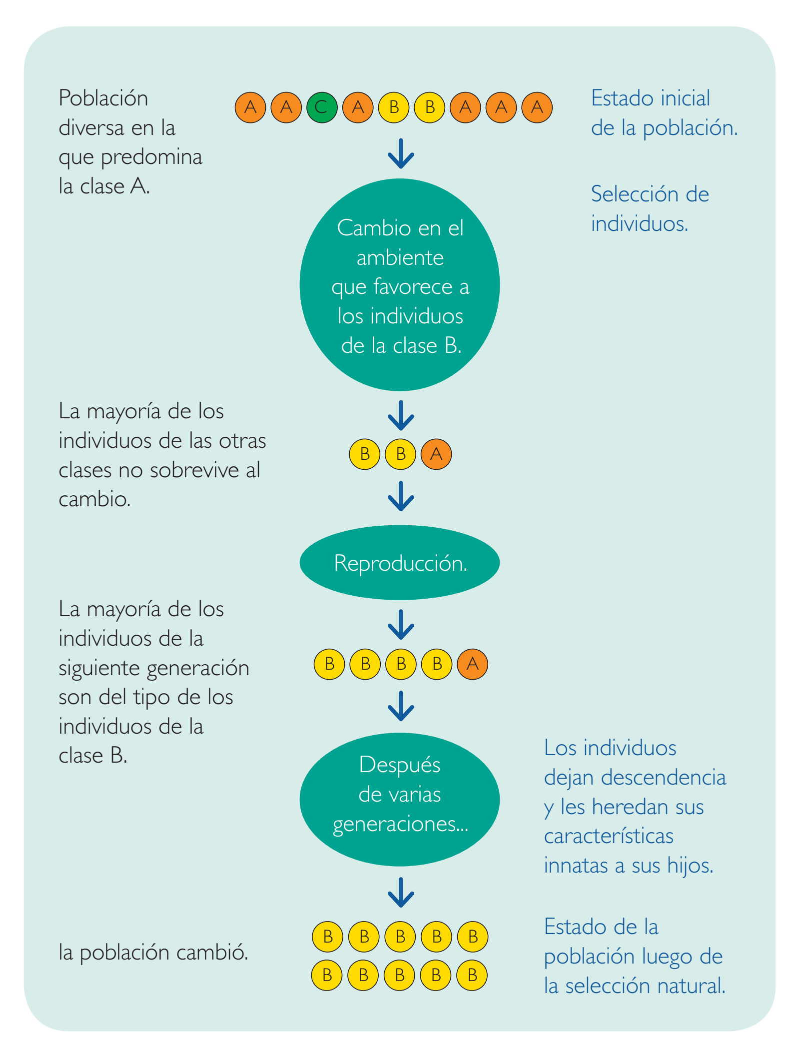
Así, si ocurre una modificación en el ambiente que beneficia a un determinado grupo de individuos, se esperará que la clase de individuos con la característica “elegida” aumente su proporción en la población, mientras que la otra clase, la disminuya. La característica que les da a los individuos cierta ventaja para utilizar los recursos de un ambiente (alimentos, refugio, pareja, etc.) se llama **adaptación**.

Entonces, la clase de individuos que deje mayor descendencia será la más adaptada al ambiente en el que vive.

Darwin entendía que la evolución se produce debido a la variedad que existe entre los individuos de una población. Si todos los individuos fueran idénticos, cualquier cambio en el ambiente tendría el mismo efecto en todos, y la población nunca cambiaría.

La población cambia porque cambia la proporción de las clases de individuos que la componen, no porque cambien los individuos. De acuerdo con este mecanismo, los individuos no cambian, sino que algunos sobreviven y dejan descendencia, y otros, no. El efecto de esto es que cambia la población. Por eso se dice que la **unidad de evolución** es la población. Recuerden que para Lamarck, en cambio, la unidad de evolución era el individuo, ya que él consideraba que la población cambiaba porque todos los individuos cambian de la misma manera.

Por otro lado, según la teoría de Darwin, las únicas características heredables son las que tiene el individuo al nacer, es decir las **innatas**, no las que adquiere durante su vida.



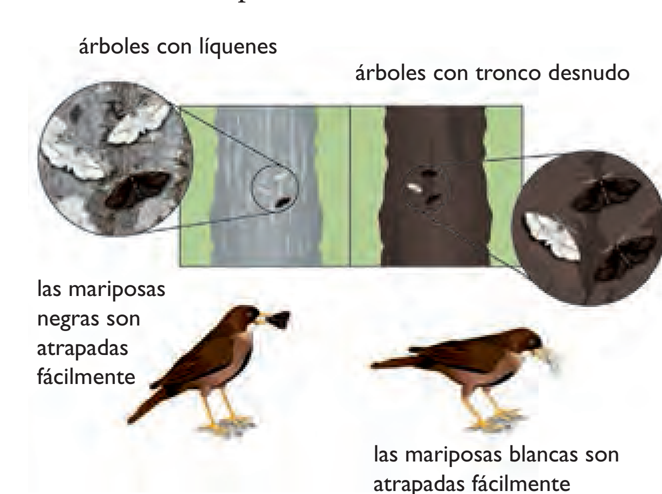

*Esquema sencillo que explica cómo es el mecanismo de selección natural.*

## Un ejemplo para entender la selección natural

Imaginemos una población de organismos (mariposas, en este caso) que viven en un ambiente determinado. En esta población de mariposas, hay dos clases de organismos: las blancas y las negras.

Este ambiente es un bosque, en el que vive también una especie de ave, que justamente es el predador principal de las mariposas. Podemos imaginar un primer escenario en el que los troncos de los árboles son claros, producto de un tipo de liquen que allí vive. Como puede preverse, en dicho ambiente, las mariposas negras serán más visibles para las aves y por ende, serán predadas con más facilidad. En este contexto, es de esperar que la cantidad de mariposas blancas sea mucho mayor que la de mariposas negras. Supongamos que, en algún momento, hay un cambio ambiental drástico que mata los líquenes en los troncos de los árboles. La muerte de los líquenes cambia la coloración de los troncos, oscureciéndolos. ¿Qué esperamos que suceda en tal caso? En principio, podríamos imaginar que las aves en cuestión comenzarán a distinguir más claramente las mariposas de color blanco, y menos las de color negro. Si esta situación continúa en el tiempo, a través de las diferentes generaciones de mariposas, posiblemente cambie la cantidad relativa de mariposas blancas y negras. En este ejemplo podemos ver cómo ha actuado la selección natural. En el primer escenario, con los troncos claros, esperamos una mayor cantidad de mariposas blancas respecto a las negras. En el segundo escenario, frente al oscurecimiento de los troncos de los árboles del bosque, imaginamos que se ha visto beneficiada la clase de mariposas negras respecto a las blancas.

En este caso, el agente "seleccionador" fue un predador, pero puede ser cualquier otro factor, como un cambio drástico en la temperatura, una inundación, un cambio atmosférico, etcétera.




*En este ejemplo de selección natural, el cambio en el ambiente es la coloración de los troncos. Los individuos seleccionados son los que mejor se mimetizan con el entorno y son más difíciles de ver para un predador.*



### CIENCIA **EN LA NET**



**El extraño caso de los cangrejos heike**

En el siguiente video del sitio YouTube, verán un relato del divulgador científico Carl Sagan, en el que explica cómo una leyenda resultó en la modificación de una población de cangrejos japoneses.

http://goo.gl/94P6Yf.

» Uso de TIC en la búsqueda y análisis de información.

### ACTIVIDADES

1. Tomen el ejemplo de la adquisición de resistencia a un insecticida en una población de cucarachas y explíquenlo ahora de acuerdo con la teoría de Darwin. ¿Cuáles son las diferencias con respecto a la explicación que dieron bajo la teoría de Lamarck?
2. ¿Qué significa que para Darwin la unidad de la evolución es la población?
3. ¿Cuál es el factor que modificó la población de cangrejos en Japón? ¿Es selección natural?

## La variabilidad: materia prima de la selección natural

La teoría de la evolución por selección natural se basa en cuatro factores: en la variabilidad, en los límites que impone el ambiente, en la competencia por el uso de los recursos y en la herencia de los caracteres.

Sin variabilidad no hay cambio. Los individuos de una población nacen con pequeñas diferencias entre ellos, estas diferencias son el "motor" de la evolución. Lo que hace la selección natural es favorecer determinadas variantes sobre otras.

Esta forma de ver la variabilidad en las poblaciones fue lo que, según muchos estudiosos de la teoría de Darwin, planteó un antes y un después en la biología.

El ambiente no tiene recursos para sostener una cantidad infinita de individuos, es decir, que los recursos limitan la cantidad de individuos que puede tener la población. Darwin, inspirado por el trabajo de Malthus, entendió que los individuos compiten por esos recursos, y que los que tienen las características que les permiten aprovechar esos recursos con más eficiencia son los que sobreviven y se reproducen.

Por último, es muy claro que para que la acción de la selección natural produzca un cambio evolutivo, tiene que actuar sobre características de los seres vivos que sean heredables, esto es, transmisibles de padres a hijos.

De acuerdo con Darwin, y con la biología actual, la evolución de una población no implica una mejora, es simplemente el cambio de los seres vivos a través del tiempo. Las mismas características, que pueden ser una ventaja para algunos individuos ante un cambio en el ambiente, pueden ser desventajosas en otras circunstancias (recuerden el ejemplo de las mariposas blancas y negras). Para Darwin, no hay un plan ni un sentido del cambio. Es por eso que no se puede predecir cómo va a cambiar una población.



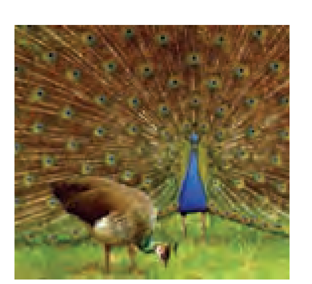
### CIENCIA **EN ACCIÓN**

**¿Se puede experimentar en biología evolutiva?**

Con cierta frecuencia, se considera que una de las características necesarias para la práctica científica es la realización de experimentos para comprobar hipótesis. Pero una de las áreas de investigación científica, en la que se encuentran numerosos inconvenientes para hacer experimentos, es el campo de análisis de la evolución biológica. Pues, ¿cómo se podría experimentar con seres biológicos que ya no están vivos? O del mismo modo, ¿cómo realizar experimentos con eventos que suceden de manera única o a través de los millones de años?

La paleontología es una ciencia fundamental para la biología evolutiva y se fundamenta en la observación y en el análisis comparativo de los restos fósiles. Por supuesto, la paleontología no es la única área que presenta esta ausencia de experimentación, por ejemplo, la astronomía y la meteorología son otros dos casos muy importantes de disciplinas que tienen otro tipo de indagación de la naturaleza. Es importante que veamos que no todas las áreas científicas realizan efectivamente experimentos y que esto, pese a lo que muchas veces se señala, no constituye un problema en sí mismo, sino solo un modo particular de indagar.

» Relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.



*En los ambientes, los recursos, como por ejemplo las parejas, son limitados. Los individuos que tengan las características que les permitan aprovechar los recursos con mayor eficiencia serán los mejor adaptados.*



*La variabilidad en una población se observa en cada generación. Sobre esta variabilidad actúa la selección natural.*

## Darwin y el origen único de la vida

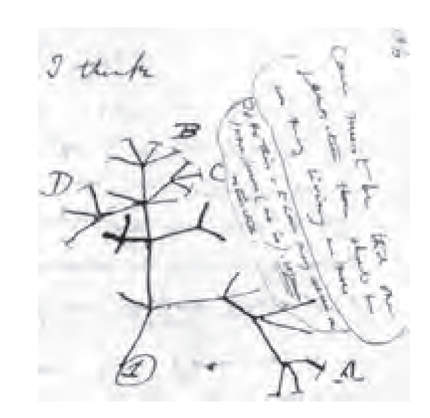
Después de años de ardua tarea, en 1859, Charles Darwin finalmente publicó sus ideas sobre la evolución en un libro llamado *El origen de las especies*, tal vez, el libro más importante en la historia de la biología. Las propuestas de la selección natural y del acento en la variabilidad fueron grandes rupturas, pero las ideas de Darwin acerca de que todos los seres vivos estamos relacionados a través de nuestra historia evolutiva y acerca de que no fuimos creados de forma independiente fue otro de los grandes elementos que generaron conmoción no solo en el ámbito científico, sino en la toda la sociedad de mediados del siglo XIX.

Es cierto que esta idea de un único origen de la vida no fue exclusiva de Darwin. De hecho, su propio abuelo, Erasmus Darwin, había sugerido a través de un maravilloso poema un único origen de todos los seres vivos. Sin embargo, en el contexto de la teoría darwiniana, la idea de un único origen cobró una fuerza notable y fue aceptada pronto por la mayor parte de los científicos de la época.

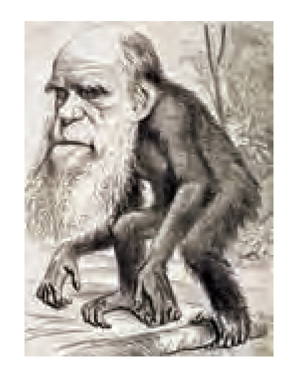
Pero esta idea del origen único de la vida generó inquietudes y molestias en algunos otros sectores de la sociedad. Desde algunos grupos religiosos, la idea del ancestro común se interpretó como un ataque a la figura del Creador y al papel predominante del hombre sobre la Tierra. Se generaron polémicas y caricaturas que mostraban un rechazo popular a la inclusión del ser humano en la comunidad de descendencia de los animales. Es cierto que fue significativo tener que reconocer que todos los seres vivos estamos reunidos por una historia común; esto nos obliga a pensarnos a los humanos (también) como animales. Sin embargo, hay una parte del debate que se debe exclusivamente a una no comprensión cabal de la teoría darwiniana, tal como la imagen del hombre como mono. Del mismo modo, hay una confusión desde estas posiciones al identificar el ámbito de la ciencia con el ámbito de las creencias personales.




El origen de las especies*, de Charles Darwin, fue publicado en 1859.*




*Esquema incluido en las anotaciones de Darwin acerca de cómo están relacionados evolutivamente los seres vivos.*



*Darwin fue ridiculizado a través de caricaturas en las que aparecía como un mono. Estas expresiones son una evidencia del impacto que causó su publicación.*



### ACTIVIDADES

1. ¿Cuáles son los factores que actúan en la selección natural? ¿Cómo actúan esos factores en la evolución de las poblaciones de acuerdo con Darwin?
2. ¿Por qué no se puede experimentar para saber cómo se produjo el cambio de un grupo de seres vivos a lo largo del tiempo?
3. ¿Qué pensaba Darwin sobre el origen de las distintas especies que habitan la Tierra?
4. ¿Cuál fue la reacción de la sociedad ante la publicación de la teoría de Darwin? ¿Con qué creencias estaba en conflicto esta teoría?

## Darwin y Wallace

Alfred Russel Wallace fue un naturalista y zoólogo galés, contemporáneo de Darwin. Al igual que él, durante varios años estudió las características y la distribución de los seres vivos, pero de las islas de Indonesia. De manera muy peculiar, Wallace llegó a realizar una propuesta muy similar a la teoría de Darwin.

Este tipo de coincidencia es algo que se observa con cierta frecuencia en la producción del conocimiento científico, y recuerda que la ciencia se trata de una actividad colectiva. Si bien hay algo de casualidad, muchos factores, que no tienen nada que ver con la ciencia que se estudia, pueden promover respuestas que pueden parecerse entre sí. Por ejemplo, Darwin y Wallace han reconocido la enorme influencia que tuvo en ellos la lectura del trabajo de Robert Malthus. Este artículo estaba escrito en un idioma que ambos podían entender y fue publicado en medios a los que los dos tenían acceso.

Pero ¿por qué si ambos investigadores propusieron la misma teoría, Darwin ha tenido una fama mucho mayor que Wallace? Una de las explicaciones que brindan los historiadores de la ciencia tiene que ver con la mejor posición económica de Darwin respecto a Wallace, que podría haberle dado mayor visibilidad a sus ideas. Otra respuesta tiene que ver con ciertas prácticas que Wallace tenía y que eran cercanas a algún tipo de "espiritualismo", lo que podría haberle restado crédito entre sus colegas. La tercera opción, dada por los historiadores, tiene que ver con las ideas políticas de Wallace, quien adhería al socialismo; esto podría haber resultado molesto para algunos de sus colegas, con tendencias políticas opuestas.

Darwin recibió con sorpresa el ensayo de Wallace que resumía sus conclusiones acerca de la evolución de los seres vivos. Pasada la sorpresa, ambos investigadores decidieron realizar la presentación conjunta del trabajo en 1858. Una carta, que el propio Darwin le envió a su amigo geólogo Lyell, ilustra muy bien las sensaciones que tuvo al respecto.



A Charles Lyell, 18 de Junio de 1858

Mi querido Lyell:
Hace un año más o menos, me recomendó que leyera un artículo de Wallace en los Annals, que le interesó y, puesto que estaba escribiéndole, sabía que le agradaría mucho, y así se lo dije. Hoy me ha enviado el artículo adjunto y me pidió que se lo enviara a usted. Me parece que bien merece la pena leerlo. Sus palabras se han hecho realidad en una medida que yo debería haber previsto. Usted dijo eso cuando le expliqué aquí muy brevemente mi punto de vista de que la "selección natural" depende de la lucha por la existencia. Nunca vi una coincidencia más notable. Si Wallace tuviera el borrador del manuscrito que escribí en 1842, ¡no hubiera podido hacer un resumen mejor! Incluso los términos que utiliza son los que figuran ahora como títulos de mis capítulos.
Por favor, devuélvame el manuscrito, que él no dice que desea que yo publique; pero, por supuesto, en seguida le escribiré y le ofreceré enviarlo a alguna revista. Así pues, toda mi originalidad, cualquiera que hubiera podido ser, va a quedar arruinada. Aunque mi libro, suponiendo que vaya a tener algún valor, no se deteriorará; pues toda la labor consiste en la aplicación de la teoría.
Espero que apruebe el esbozo de Wallace, y que yo pueda decirle lo que usted opina.
Mi querido Lyell,
su muy seguro servidor,
C. Darwin

(Extraído de *Cartas de Darwin*, (1825-1859), 1999. Edición española. Cambridge University Press.)

## Darwin y la herencia biológica

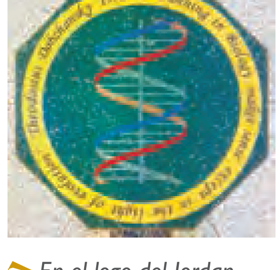
Darwin nunca pudo explicar cómo se heredan las características de padres a hijos. No podía explicar cómo se producen los cambios que generan la variabilidad y en qué proporción, los nuevos individuos se parecen a uno u otro progenitor.

Con respecto a la causa de la variabilidad, Darwin, en muchas ocasiones, adhería parcialmente a la teoría de Lamarck, que postula que el ambiente genera cambios en los individuos y que estos eran heredados, aunque para Darwin, la importancia no estaba en estos pequeños cambios, sino en cómo eran seleccionados ciertos individuos de forma tal que sus características se propagaran en la población mediante la reproducción.

En cuanto al parecido con los progenitores, Darwin no tenía una explicación acerca de cómo se transmiten los caracteres a la descendencia. Esto, que hoy se conoce como las leyes de la herencia, era desconocido totalmente para él.

Sin embargo, siete años más tarde que se publicara *El origen de las especies*, un monje y matemático de lo que actualmente es la República Checa, llamado Gregor Mendel, publicó un estudio estadístico acerca de la herencia de ciertos caracteres en las plantas, que explicaba, en gran parte, en qué proporción se heredan las características de los progenitores. Esta explicación, que veremos con mucho más detalle en el capítulo 8, nunca llegó a manos de Darwin. El trabajo publicado por Mendel en 1866 no fue tenido en cuenta por la comunidad científica de su país, y su trabajo fue olvidado por 30 años.

Cabe destacar que, a pesar de no poder explicar la herencia biológica, Darwin dio con una explicación acerca de la evolución que resultó tan poderosa que es casi totalmente vigente en nuestros días. Por su parte, Mendel realizó su trabajo desconociendo por completo la existencia del material genético en las células (el ADN), pero su teoría también se aplica casi totalmente en la biología actual.



*En el logo del Jordan Hall of Science, en la Universidad de Notre Dame, en Estados Unidos, se lee la frase de Theodosius Dobzhansky (1900-1975):* "Nada en la biología tiene sentido, excepto a la luz de la evolución".



### El neodarwinismo

En el siglo XX, una vez que se tuvo información acerca de las leyes de la herencia y de la existencia del ADN, algunos biólogos evolutivos fundaron una teoría que reúne y combina todos estos conceptos, y que da una explicación mucho más detallada sobre cómo evolucionan las especies. Esta teoría, elaborada por un grupo de biólogos evolutivos (Theodosius Dobzhansky, Ernst Mayr, Thomas Hunt Morgan, R. A. Fisher, J.B.S. Haldane, Sewall Wright, William Donald Hamilton, Cyril Darlington, Julian Huxley, George Gaylord Simpson y G. Ledyard Stebbins), se conoce como Teoría sintética de la evolución o neodarwinismo.

Al conocer el mecanismo de la herencia, los neodarwinistas concluyeron, entre otras cosas, que la variabilidad se produce por azar. Ocurren cambios espontáneos, independientes del ambiente, en el material hereditario de los nuevos individuos.

Actualmente, cuando hablamos de darwinismo, nos referimos en realidad al neodarwinismo, que explica la evolución con más herramientas.

#### ACTIVIDADES

1. ¿Cuál fue el artículo que influyó tanto en la teoría de Darwin como en la de Wallace?
2. ¿Cuáles fueron los motivos, según los historiadores, de que Darwin haya tenido más reconocimiento que su colega?
3. ¿Qué es el neodarwinismo?

## El neodarwinismo y Lamarck: dos visiones de la evolución

Si bien la teoría de Lamarck fue desechada, este naturalista fue uno de los científicos más importantes en la historia de la biología, incluso, como vimos, Darwin tomó alguna de sus ideas. De acuerdo con la teoría sintética de la evolución, el mecanismo por el cual evolucionan los seres vivos es principalmente la selección natural, y no el cambio por la herencia de caracteres adquiridos.

No podemos decir que Lamarck se equivocó o que cometió un error, ya que, vistas en el contexto de su época, sus ideas fueron un avance para la biología. La ciencia se construye sobre la base de ideas preexistentes, aportando nuevas evidencias que puedan o no cambiar las anteriores. Si las pruebas refutan las ideas previas, se plantean nuevas.

Así, el neodarwinismo (basado en la teoría de Darwin) y la teoría de Lamarck son dos respuestas a la pregunta "¿De qué manera evolucionan los seres vivos?".

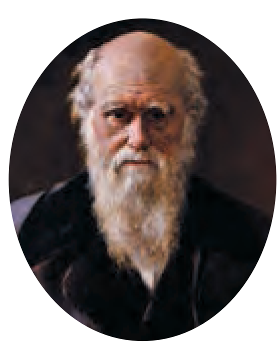
| Aspectos de la teoría | Teoría de Lamarck | Neodarwinismo |
|---|---|---|
| Supuesto del que parten | Todos los individuos de una misma generación son exactamente iguales y tienen la misma posibilidad de cambiar. | Los individuos de una generación nacen con pequeñas diferencias. |
| “Motor” de la evolución | Necesidad ante la presión ambiental, búsqueda de la perfección. | Selección natural. |
| Dirección de la evolución | Hacia la perfección. Los organismos cambian “para mejorar” y, por lo tanto, la evolución significa progreso. | Azarosa: depende de la variabilidad presente en la población. La evolución no necesariamente es progreso. |
| Caracteres heredables a la descendencia | Los adquiridos durante la vida de los individuos. | Los que los individuos ya poseen desde su nacimiento. |
| Efecto del ambiente | Produce el cambio evolutivo en la vida de cada individuo. | Selecciona favorablemente dentro de la variabilidad de la población. |
| Unidad de la evolución | Los individuos. | La población. |



*Jean Baptiste de Lamarck.*

Es común escuchar expresiones como “este ser vivo es más evolucionado que aquel otro”, o “las jirafas tienen el cuello más largo *para* alcanzar las hojas más altas”. A la luz de cómo entendemos actualmente la evolución, estas expresiones no tienen mucho sentido. Una bacteria, por ejemplo, puede no ser menos evolucionada que un mono, simplemente es un organismo más simple. A través de las generaciones, las poblaciones pueden acumular cambios. Cuando una especie ha acumulado más cambios con respecto a una especie comparable, se dice que tiene características más derivadas, o que la otra es más primitiva. Por ejemplo, los orangutanes y los lémures son primates, pero los segundos poseen características más primitivas.

Por otra parte, cuando decimos que algo existe “para” llevar a cabo alguna función, estamos siendo lamarckianos. Estamos imaginando que un órgano apareció para satisfacer una necesidad, cuando en realidad, esa característica es el resultado de la selección natural (y de otros mecanismos) que actúa sobre características existentes en los individuos, durante varias generaciones.



*Charles Darwin.*

### ACTIVIDADES

1. Escriban un breve texto explicando las diferencias entre el neodarwinismo y la teoría de Lamarck.

2. Busquen frases en libros, revistas, publicidades, etc., en las que detecten lamarckismos.





# Recuperar el ambiente

La teoría de Darwin obligó a pensar el mundo y a nosotros mismos de un modo diferente. Entre esos cambios, aparece la idea de no poder pensar a los organismos biológicos por fuera de su ambiente. Antes se estudiaba a los organismos solo en cajas de disección y sin verlos en contexto con su medio. Desde la publicación de *El origen de las especies*, se trata de entender que todo ser vivo necesariamente está asociado a un ambiente, en él se reproduce, se alimenta, interactúa con otros organismos, ahí es, al fin y al cabo, donde "pertenece".

La idea de adaptación de los seres vivos nos expresa claramente este concepto: los seres vivos son de determinada manera, debido al resultado de la selección natural dada por las limitaciones del ambiente.

Muchas veces, en la vida cotidiana, nos cuesta ver esta relación entre los organismos y su ambiente. Veamos tres ejemplos y preguntémonos cómo está considerado este vínculo en cada uno de ellos.

En primer lugar, recordemos los zoológicos que hemos conocido en nuestra vida. ¿Cómo están viviendo los animales? ¿Están en una réplica exacta de su ambiente original? ¿Qué es lo que comen? ¿Cómo son sus interacciones con otros organismos de la misma especie? ¿Y con el entorno?

En segundo lugar, los museos de ciencias naturales también nos ofrecen una buena posibilidad para hacernos preguntas similares. Caminando por sus pasillos, logramos viajar en el tiempo y en el espacio al ver animales embalsamados o bien reconstruidos a través de sus huesos fósiles, pero ¿cómo se representa el ambiente de cada uno de ellos? ¿Podemos visualizar en todos los casos sus ambientes respectivos?, ¿o qué relaciones existían entre los distintos seres vivos que se exponen?

El tercer y último ejemplo es propio del ámbito tecnológico: el uso de la clonación para recuperar animales extintos. Se ha hablado bastante de la posibilidad de clonar, por ejemplo, mamuts, aquellos grandes mamíferos parecidos a los elefantes, aunque adaptados a climas fríos. Suponiendo que tenemos la tecnología para poder "traerlos de nuevo", ¿tendrá sentido tal decisión? ¿Será realmente ese organismo un mamut, si acaso no vive en su verdadero ambiente? Para este último caso, quizás el desafío sea poner mayores esfuerzos en conservar los ambientes en donde viven los seres vivos actualmente, pues de lo contrario habrá pérdidas irreparables, y una parte fundamental del mundo no tendrá retorno de ningún tipo.



*En los zoológicos que visitaron, ¿está bien reproducido el ambiente original de los seres vivos que viven allí?*

* ¿Qué sucede con el ambiente en el caso de los animales domésticos? ¿Con cuáles de los casos mencionados en el texto se podría equiparar este caso?

* ¿Cuál es nuestro propio ambiente? ¿Es único? ¿Estamos adaptados al ambiente en el que vivimos? ¿cómo?

* Todos los ejemplos mencionados hasta aquí son de animales, ¿qué sucede con el ambiente de las plantas? ¿Qué características pueden tener? ¿Qué ocurre cuando cambian las condiciones de desarrollo de una planta (por ejemplo, la luminosidad, la cantidad de tierra, el riego, etcétera)?

>> Relación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente.

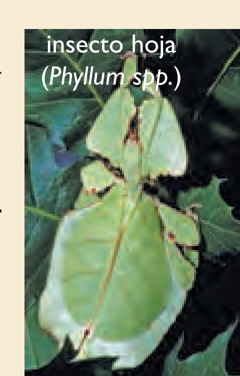


# ¿La selección natural favorece a los individuos que se mimetizan?

A lo largo de este capítulo, se explicó cómo actúa la selección natural. En este taller les proponemos hacer una simulación para entender mejor este mecanismo.

Una de las características que pueden ser ventajosas para un grupo de individuos es el mimetismo. Esto se vio en el ejemplo que se dio de las mariposas blancas y negras.

Cuanto mejor se confunda un individuo con el entorno, más difícil será para un depredador verlo y, en caso de que el individuo mimetizado sea a su vez predador de otros seres vivos, podrá también ocultarse mejor para atrapar a su presa.


insecto hoja (*Phyllum spp.*)

**[HIPÓTESIS]** La selección natural actúa favoreciendo el mimetismo. Los individuos que mejor se mimeticen aumentarán su proporción respecto a los que sean más fácilmente observables por sus predadores.

**[PREDICCIÓN]** Los individuos cuyo color coincida con el del ambiente aumentarán su proporción respecto a los individuos que presenten colores contrastantes.

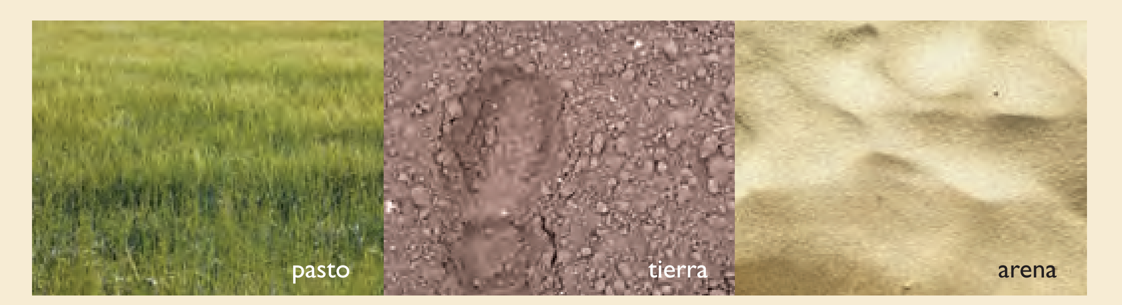
**[MATERIALES]** Un anotador * una lapicera * 1 m de cable marrón * 1 m de cable verde * 1 m de cable rojo * 1 m de cable amarillo * una bolsa * un cronómetro.

**[PROCEDIMIENTO POR PASOS]**

**1.** Divídanse en grupos, dentro de cada grupo, elijan a un integrante que hará de "predador".

**2.** Para simular los individuos, corten cada cable en 50 partes de 2 cm cada una, tendrán 50 individuos de cada color.

**3.** Seleccionen tres ambientes para realizar la prueba. Los tres deben tener coloraciones diferentes. Preferiblemente, usen uno con pasto, otro solo con tierra y un tercer ambiente con arena.




**4.** Tomen 10 cables de cada color, júntenlos en una bolsa y mézclenlos.

**5.** En el primer ambiente, arrojen los 40 cables y distribúyalos de manera aleatoria en una superficie de 1 $m^2$. El compañero que simulará ser el predador deberá estar de espaldas cuando arrojen los cables, de modo que no vea dónde caen.

**6.** En el instante en el que inician el cronómetro, el "predador" deberá darse vuelta y juntar la mayor cantidad de cables que pueda durante 20 segundos.

**7.** Cumplidos los 20 segundos, anoten la cantidad de cables que no fueron "predados".

**8.** Para armar la siguiente generación, pongan en la bolsa los cables "sobrevivientes" y por cada uno de los cables que tienen, agreguen otro cable del mismo color.

**9.** Repitan el procedimiento anterior (arrojen los cables sin que el predador vea dónde caen y luego, déjenlo "cazar" durante 20 segundos).

**10.** Repitan los pasos 4 al 9 en los otros dos ambientes, y vuelquen los resultados en una tabla como la siguiente.

| | marrones | | amarillos | | verdes | | rojos | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población |
| inicial primera generación | 10 | 25,00% | 10 | 25,00% | 10 | 25,00% | 10 | 25,00% |
| ambiente marrón | | | | | | | | |
| | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población |
| final primera generación (n) | | | | | | | | |
| segunda generación (n x 2) | | | | | | | | |
| final segunda generación (n2) | | | | | | | | |
| ambiente verde | | | | | | | | |
| | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población |
| final primera generación (n) | | | | | | | | |
| segunda generación (n x 2) | | | | | | | | |
| final segunda generación (n2) | | | | | | | | |
| ambiente amarillo | | | | | | | | |
| | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población | cantidad | % de la población |
| final primera generación (n) | | | | | | | | |
| segunda generación (n x 2) | | | | | | | | |
| final segunda generación (n2) | | | | | | | | |

## ¿Qué resultados esperamos?

Si se corrobora la hipótesis, esperamos que aumente la proporción de los tipos de colores que coincidan con los colores del entorno. De este modo, esperamos un aumento de la proporción de los cables verdes en el ambiente con pasto; de los marrones, en el ambiente con tierra, y de los amarillos en la arena, respecto a las otras clases.

### ACTIVIDADES

1. ¿Se aceptó la hipótesis? ¿Se confirmó la predicción?
2. ¿Hubo algún color más elegido que el resto? ¿Cómo interpretan dicho resultado?
3. ¿Qué diferencias existirían entre la persona que hizo de predador y un ave (predador inconsciente)? ¿Consideran que la predicción influyó en la actuación de los predadores?

## ESTUDIO DE CASO



El hallazgo de fósiles fue explicado de distintas formas. Cuvier lo explicó desde su visión creacionista, como la evidencia de que los seres vivos que creaba Dios eran aniquilados por grandes catástrofes naturales y que luego, se sucedía otra creación y así sucesivamente. Darwin y otros evolucionistas interpretaban de otra manera estas evidencias. Para ellos eran una prueba de que los seres vivos se transforman con el tiempo. Darwin, en su viaje, recolectó especímenes tanto de seres vivos extintos como de organismos vivos. Comparó seres extintos con seres actuales, y además hizo comparaciones dentro de cada uno de estos grupos.

1. ¿Qué información, además del cambio de los seres vivos en el tiempo, le brindaron a Darwin sus comparaciones? ¿Cómo se relacionan las conclusiones de Darwin con la siguiente imagen?

2. De acuerdo con las teorías evolucionistas que se vieron en este capítulo, ¿es posible la evolución de la vida sin los cambios en los ambientes? ¿Por qué? ¿Qué importancia le daba Lamarck al ambiente? ¿Y Darwin?

**3.** Completen el siguiente cuadro comparativo.

| | Lamarckismo | Darwinismo | Neodarwinismo |
|---|---|---|---|
| Unidad de la evolución | | | Población. |
| Origen de la variabilidad | | Cambios en el ambiente. | |
| "Motor" de la evolución | Necesidad ante el cambio. Búsqueda de la perfección. | | |

**4.** Lean el siguiente texto, y respondan a las preguntas que están a continuación.

*El ejemplo de las mariposas de colores blanco y negro es similar a un caso que permaneció durante muchos años como una prueba de la selección natural.*

*En este caso, se trataba de una especie de polillas moteadas llamadas* Biston betularia *que habitaba el territorio de Inglaterra. En el siglo XX, el médico aficionado al estudio de los insectos y defensor de la teoría de Darwin, H. B. D. Kettlewell, publicó una investigación en la que se demostraba que las poblaciones de polillas moteadas que vivían en las zonas rurales, sin contaminación, tenían una mayoría de individuos de color claro, mientras que las poblaciones de las zonas industrializadas, donde el hollín había oscurecido los troncos, tenían una mayoría de individuos de coloración oscura.*

*Este caso fue publicado (acompañado por fotografías como la que se muestra) y utilizado como ejemplo de evolución darwiniana por muchos años.*

*Recientes estudios revelaron que las polillas habían sido puestas por Kettlewell en estos dos ambientes y que las fotografías habían sido tomadas con ejemplares muertos y fijados a los troncos, ya que estas polillas rara vez se posan en los troncos de los árboles.*

- **a.** ¿El descubrimiento de este fraude invalida la teoría de Darwin? ¿Por qué?
- **b.** ¿Qué característica de comportamiento, mencionada en el texto, dio la pauta de que este trabajo podría estar armado?
- **c.** ¿Consideran que basta con analizar el aspecto de los individuos aislados de su ambiente para sacar conclusiones acerca de los efectos de la selección natural?
- **d.** ¿Qué sucedería si, por ejemplo, se observa que las polillas más claras son también las más rápidas? ¿Se puede observar eso en los ejemplares muertos coleccionados?
- **e.** ¿Basta con conocer a la población, aislada de las interacciones con otras poblaciones, para saber sobre su evolución? ¿Qué sucede si el predador de la especie no es un ave, sino un murciélago (que no depende de la visión, sino de la ecolocación)?

**5.** Respondan a las siguientes preguntas en sus carpetas.

- **a.** ¿Qué factores llevaron a Darwin a elaborar su teoría? Hagan una lista con estos factores.
- **b.** ¿Cuáles son factores propios de las ciencias naturales y cuáles son ajenos a ellas?
- **c.** ¿Qué rasgos de la personalidad de Darwin fueron importantes en la elaboración de su teoría?
- **d.** ¿Cuáles son las preguntas que Darwin no pudo responder?
- **e.** ¿Cuándo se respondieron estas preguntas?
- **f.** ¿En qué consiste el neodarwinismo?

**6.** **El siguiente texto es similar al de muchas publicidades de insecticidas y de productos de limpieza.**

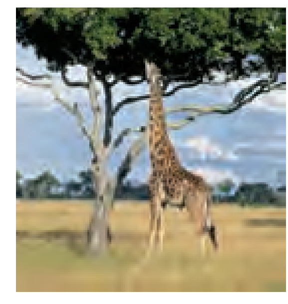
*"¡Limpiol! Mata todos los gérmenes, ¡hasta los evolucionados!".*

- **a.** ¿Existen organismos evolucionados y no evolucionados?
- **b.** ¿Qué consideran que quiere expresar el fabricante de este producto?
- **c.** Si en una casa existen microorganismos que no mueren con este producto, ¿cuál sería el resultado de aplicar Limpiol a una población de "gérmenes" después de varias generaciones?

**7.** **Escriban un texto con los siguientes conceptos: gradualismo; edad de la Tierra; registro fósil discontinuo; formas intermedias; crítica.**

**8.** **En las siguientes imágenes, se muestran seres vivos con distintas adaptaciones.**

- **a.** Identifiquen las adaptaciones más notables.
- **b.** Elaboren una hipótesis de cómo pudieron haber aparecido esas adaptaciones bajo la teoría de Lamarck.
- **c.** Elaboren otra hipótesis, pero esta vez bajo la teoría neodarwinista.





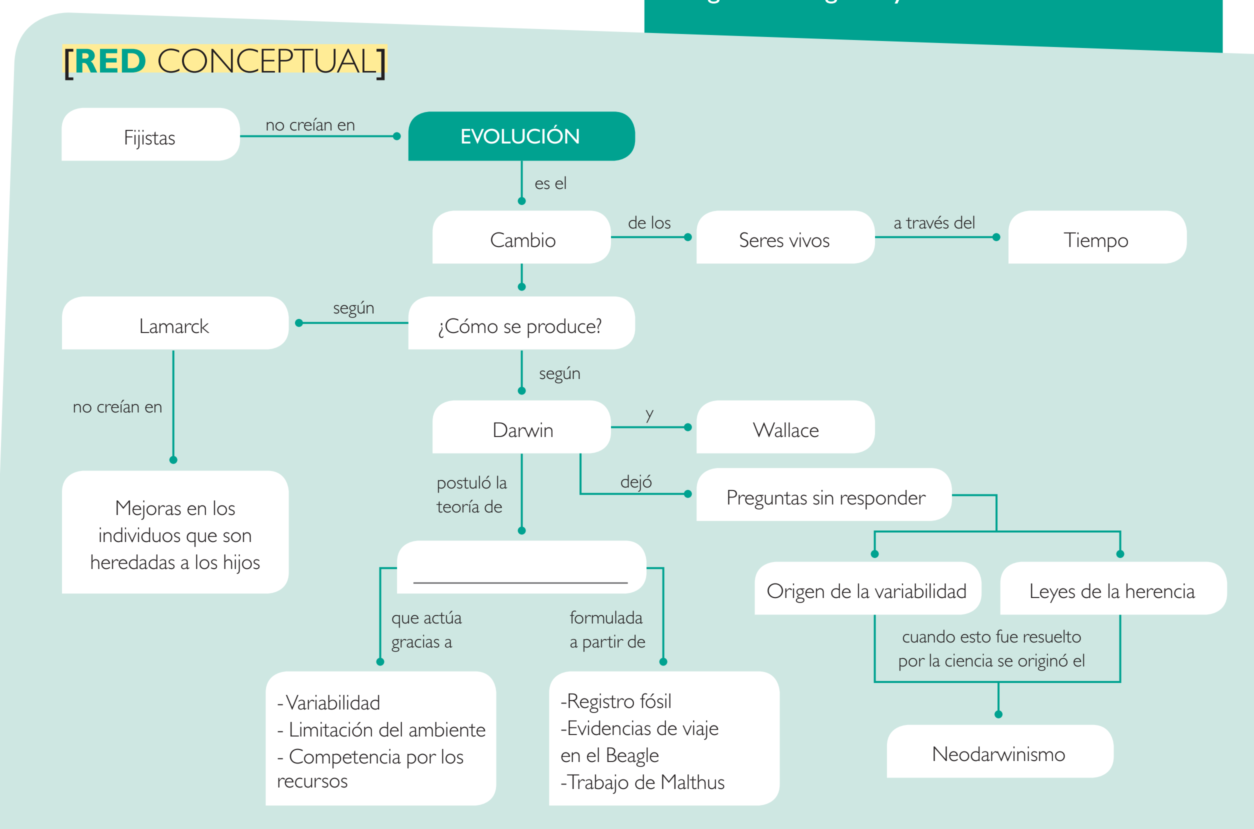
**9.** Discutan la frase de Theodosius Dobzhansky: "*Nada en la biología tiene sentido, excepto a la luz de la evolución*".

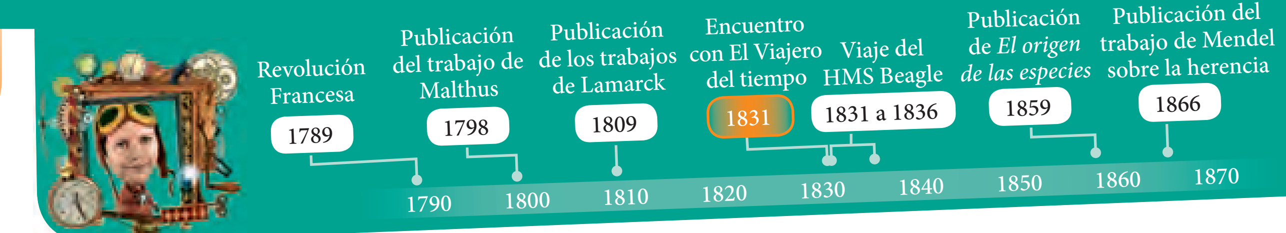
10. Luego de haber leído este capítulo, ¿qué aprendieron acerca de las teorías de la evolución?

11. Vuelvan a responder a las preguntas del comienzo del capítulo. ¿Coinciden sus respuestas nuevas con las que dieron originalmente? ¿En qué cambiaron?

12. ¿Qué tema les interesó más? ¿Por qué?

13. ¿Qué tema no entendieron? ¿Sobre cuál les gustaría seguir leyendo?






*Los dedos me temblaban en la cabina de la máquina del tiempo: ¡Iba a conocer a mi científico favorito! Tecleé las coordenadas y aparecí en una casa de campo. Frente a la puerta, había una carta y la tomé en mis manos para entregarla. No había llegado a tocar la aldaba, cuando un joven de veinte años o poco más llegó corriendo a abrir, y me sacó la carta de las manos.*



# Una carta para el joven Charles Darwin

*Joven Charles Darwin.*

—¡Por fin! —dijo, visiblemente agitado—. ¡No sabe cómo la estaba esperando!

Rompió el sello de cera y abrió el sobre, leyó apresuradamente las breves líneas sobre el papel… y gritó de alegría.

—¡Síiiiiiii! —Parecía un chico a quien le había llegado la mejor noticia de su vida. Pero, de pronto, se percató de que me había dejado en la entrada—. Por favor, no se quede ahí, pase… qué modales los míos. Hay que tratar bien a los que traen buenas nuevas.

Entré a la casa, me saqué el abrigo y me dispuse a tener una conversación con mi ídolo: Charles Darwin. Bueno, con el joven Charles, no el que conoceríamos mucho después, el viejito de barba larga que se ocupó de juntar datos y de meditar durante largos años hasta tirar una bomba llamada “El origen de las especies”. Y todo cambió. Pero aquí tenía a este muchacho de incipiente barba, entre castaña y pelirroja, a quien se le abrían las puertas del mundo.

—Yo estaba seguro de que me iba a aceptar —me contó—. Tengo las mejores credenciales, estudié con Henslow y Sedgwick, sé todo sobre los insectos, me encanta la geología…

—Y viene de una buena familia… —aventuré.

—Bueno, sí, eso también —dijo Charles, un poco molesto—. Es cierto que él me quiere para acompañarlo en las comidas, y que ya tiene a su naturalista oficial, pero esto no me lo pierdo ni loco. ¿Se da cuenta? Brasil, la selva, las montañas, los mares del sur…

“Él” no era otro que Robert Fitz Roy, el aristocrático y firme capitán del HMS Beagle, que partiría en un viaje de expedición científica a cartografiar América del Sur y, de paso, a conocer a fondo esas tierras, las plantas, los animales y los “salvajes” que allí se encontraban.



*Pintura que representa el estudio donde trabajaba Darwin en Kent, Inglaterra.*

—También ayuda conocer bien la Biblia, supongo —insistí, ya que se sabía que Fitz Roy era un ferviente cristiano, y que en sus viajes también andaba buscando pruebas de la creación divina.

—Sí, sí —contestó, un poco molesto—. Yo iba a ser clérigo, ¿sabe? Pero mucho no funcionó… También me inscribí en Medicina, como mi padre, pero eso no era lo mío. Yo quería estar al aire libre, coleccionar escarabajos; entender la vida, no la enfermedad. Una vez había cazado dos bellísimos ejemplares, y los tenía en mis manos cuando de pronto vi otro todavía más hermoso, pero ya no tenía cómo agarrarlo. ¿Sabe qué hice? Me puse uno de los escarabajos en la boca, para poder tener una mano libre… ¡y me mordió la lengua!

Los dos reímos de buena gana, y aproveché para mirarlo, con su frente amplia, sus ojos pequeños y vivaces, sus ganas de comerse al mundo. Cuando se dio cuenta de que lo estaba examinando, su semblante cambió por completo.



*En esta caricatura se representa a Darwin con un clérigo en una mano y un científico en la otra.*

—No me diga que usted también cree en esas cosas —dijo, desilusionado—. Qué, ¿me va a decir que mi nariz no tiene apariencia resuelta o que mis ojos están demasiado juntos, y entonces no tengo la fuerza necesaria para realizar un viaje tan largo?

—¿Perdón?

—¡Es que eso es lo único que me dijo Fitz Roy luego de nuestra entrevista! —Se quejó—. Parece que cree que la cara de la gente es lo más importante para juzgarla. Boberías… Pero yo estaba seguro de que me iba a elegir. Se va a sorprender, ya verá.

Le habían vuelto la sonrisa y el entusiasmo. Y ni siquiera se imaginaba todo lo que estaba por venir.

—¿Y su padre aprueba el viaje? —pregunté.

—Shhhh… hable más bajo, que está en su estudio y en cualquier momento viene —dijo, llevándose el índice a los labios—. En realidad, no está muy seguro, dice que no es más que una pérdida de tiempo, pero yo creo que mi tío Josiah lo va a convencer. Siempre anda diciendo que uno tiene que hacer algo con su vida, ¡y esta es mi oportunidad! Ni se imagina la buena noticia que me ha traído, señor.

Me acompañó hasta la puerta y me despidió, siempre con la carta en la mano. Yo no podía dejar de sonreír: había conocido a un hombre de 22 años que se iría a descubrir el mundo… y redescubriría el mundo. Bajo el mando del heroico capitán Fitz Roy (todo un veterano con sus 26 años de edad, y de “lobo de mar”, a cuestas), estaría encargado de colectar y analizar animales, plantas, huesos y todo *souvenir* que se considerara interesante. Cinco años de navegación (y de tierra firme, incluyendo cabalgatas gauchas y travesías playeras) sembraron al mismo tiempo la duda acerca de la inmutabilidad de las especies y el germen de la teoría de la evolución. Y todo cambiaría para siempre.



*El HMS Beagle varado en las costas de Tierra del Fuego.*

1. ¿Cómo describe el Viajero a Charles Darwin? ¿Cómo relacionan estas características con su investigación?

2. ¿Qué creen que simboliza la caricatura de Darwin en la que se lo muestra con un clérigo en una mano y un científico en la otra?

3. ¿Cuáles fueron los motivos, según Darwin y el Viajero, por los que el capitán Fitz Roy aceptó a Darwin en el barco?

Contenidos: Neodarwinismo • Fuentes de biodiversidad genética: mutaciones y migraciones • Mecanismos alternativos a la selección natural: la deriva genética • Mecanismos de especiación • Especiación alopátrica parapátrica y simpátrica • Críticas al darwinismo • Teoría de los equilibrios puntuados

# 3
# El origen de las especies



# [ESTUDIO DE CASO]



## Nuestras mascotas, las plantas

Algunas especies vegetales han desbordado sus sitios de origen e invadido crecientes porciones del planeta; desplazan a las poblaciones nativas y se apoderan de su territorio. Algunas, como el maíz y la soja, amenazan con desestabilizar ecosistemas completos. Estas plantas pueden ser consideradas como algunas de las especies más exitosas de la historia de la Tierra. ¿A qué características se debe tal descomunal éxito? Simple: están adaptadas al ambiente humano. Pero ¿cómo aparecieron esas adaptaciones?

Es fácil imaginarse que los primeros cazadores recolectores escogieran los frutos y semillas más grandes y suculentos, con mejor sabor y en racimos o espigas con varios frutos y sin cáscaras o cubiertas duras. Estos, desparramados por error cerca de sus viviendas, seguramente fueran al final plantados a propósito. Pero existen otras características muy importantes para convertirse en cultivo que debieron aparecer de forma mucho menos deliberada. Miremos un ejemplo.

Las plantas salvajes tienden a florecer, a fructificar y a germinar en tiempos diversos, de manera no sincronizada. Esto es favorable en estado salvaje porque así pueden sobrevivir a un calorcito invernal fuera de lugar, pueden ser dispersadas por más animales y colonizar territorios más alejados. Pero cuando un granjero primitivo cosecha en un determinado período, se queda con las semillas que han germinado, crecido y dado fruto en un momento particular. Al hacer esto año a año, se irá quedando con aquellas variedades que (como pasa ahora con las especies domesticadas) florecen y germinan en momentos fijos y sincrónicos. Vemos entonces cómo la dormancia (que es el período de latencia) de las semillas y la variabilidad en la fructificación favorecen la dispersión de las plantas por animales salvajes. Pero cuando los humanos intervienen, prefieren las variedades sincrónicas y homogéneas, aunque no lo sepan. Aquellas plantas que son más dispersadas tienden a dominar los territorios, y a expandirse. Desde el punto de vista de las plantas domésticas, las adaptaciones al medio humano han sido la clave de su gran éxito evolutivo.

* Los árboles de mora son dispersados por aves que comen sus frutos. ¿Qué tipo de fruto será dispersado más exitosamente? Las semillas del olmo y del palo borracho son dispersadas por el viento. ¿Qué características llevarán a una mayor dispersión de estas especies?
  **a.** El ser humano y otros mamíferos también pueden dispersar las plantas de mora. Indiquen qué pasaría en un tiempo muy largo con el tamaño y el color de las moras si estas son dispersadas más eficientemente por humanos o por mamíferos grandes, o si estas son dispersadas por pájaros pequeños. Dado el tamaño actual de las moras, ¿cuál les parece que es su dispersador más eficiente?

* ¿Es válido decir que el trigo se adaptó al ambiente humano?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

# Después de Darwin: la consolidación del neodarwinismo

Como vimos en el capítulo 2, la unión de la teoría de Darwin y del conocimiento acerca de la herencia y la genética dio lugar al **neodarwnismo**, también conocido como **teoría sintética de la evolución** o **síntesis biológica**. Las ideas de la teoría sintética de la evolución se pueden resumir en los siguientes postulados.

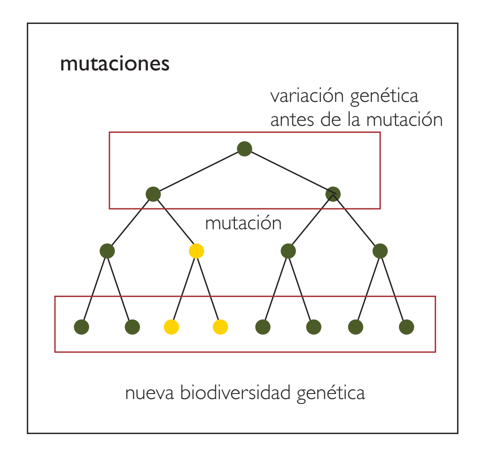
- La información hereditaria se encuentra en unidades llamadas **genes**, en el núcleo de todas las células. La información de los genes determina todas las características de los seres vivos, y se puede transmitir a la descendencia. (La herencia a través de los genes se estudiará en profundidad en el capítulo 8 de este libro.)
- Dentro de una población, hay variantes en la información de los genes (biodiversidad genética), y estas se producen al **azar**.
- Los mecanismos de evolución actúan seleccionando en la población ciertas **variantes de los genes**.
- La acumulación lenta de **cambios graduales** seleccionados pueden explicar la generación de todas las especies.

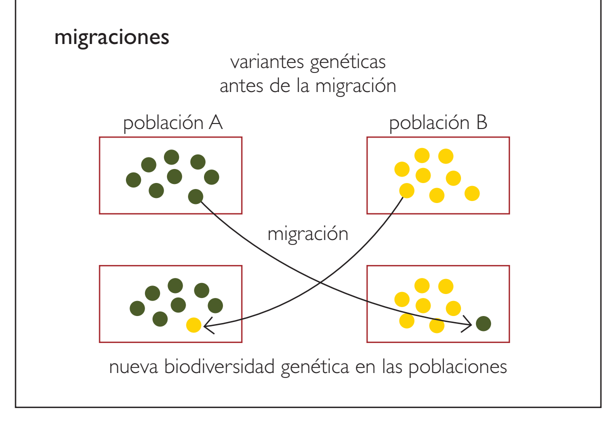
## Los cambios en la diversidad genética de una población

La teoría sintética de la evolución completó la teoría propuesta por Darwin, ya que aportó explicaciones acerca de la generación de variabilidad en las poblaciones y de cómo esta variabilidad genética cambia en el tiempo.

Las **mutaciones** en el material genético son cambios que se producen de forma azarosa en las moléculas de ADN presentes en las células. Si estas moléculas son heredadas por la descendencia, la nueva generación presentará una nueva variante genética en la población. De este modo, las mutaciones son una fuente de variabilidad en las poblaciones. En determinadas condiciones ambientales, ciertas mutaciones pueden resultar ventajosas y ser seleccionadas, así persisten en la población.

Otro factor que modifica la diversidad genética en las poblaciones es la **migración**, que es el traslado de individuos de una población a otra de la misma especie. Cuando ingresa a una población un grupo de individuos, traen consigo su información genética, que puede contener mutaciones que no estaban presentes antes en esta población. Cuando los individuos salen de su población de origen, también modifican la biodiversidad de esta población.




*La mutaciones y las migraciones producen cambios en la diversidad genética de las poblaciones.*

## ¿Existe evolución sin selección natural?

Se considera que una población evoluciona cuando se produce un cambio notable en la proporción de alguna variante, es decir, cuando aumenta la proporción de individuos de determinada variedad con respecto a los de otra.

Pero ¿el único mecanismo por el cual una variante puede aumentar su proporción notablemente es la selección natural? Este problema surgió cuando distintos investigadores intentaron explicar características de los seres vivos que no parecían tener una función determinada, es decir, que no parecían ser adaptaciones. ¿Cómo habían sido conservadas durante generaciones de selección natural? La respuesta la dio el neodarwismo: pudieron ser conservadas por deriva genética.

### La deriva genética

En poblaciones chicas, puede suceder que, por azar, algunos individuos dejen menos descendencia que otros sin que participe la selección natural y que, a lo largo de algunas generaciones, sus características se transmitan menos que las de otros. Incluso puede ocurrir que algunas variantes desaparezcan y que otras aumenten su proporción sin que estas constituyan una adaptación al ambiente. Este efecto se conoce como **deriva genética**, y tiene una gran influencia en el proceso evolutivo. Dos ejemplos se deriva génica son el *efecto fundador*, en el que unos pocos individuos se separan de la población principal e inician una nueva, y el *cuello de botella,* en el que ocurre una disminución drástica de la población.

**Efecto fundador**
Unos pocos individuos de una población colonizan un nuevo hábitat, por ejemplo, una isla. Esta nueva población tiene menos variabilidad genética que toda la población original, los nuevos individuos de la población fundada tendrán las características de los fundadores, al menos hasta que un nuevo cambio ocurra, como mutaciones o migraciones.




**Cuello de botella**
Un cambio brusco en el ambiente puede provocar una reducción drástica en la cantidad de individuos de una población; se dice que la población pasa por un "cuello de botella". Si estos individuos se reproducen y recomponen el tamaño de la población, la variabilidad genética probablemente sea menor a la de la población original.




CIENCIA **EN ACCIÓN**

**La deriva genética y el albinismo en un pueblo de La Rioja**

El albinismo es una condición de ausencia de pigmentación en la piel, en los ojos y en el pelo. En el mundo, la frecuencia de albinismo es de 1 cada 17.000 personas. En un pueblo de la provincia de La Rioja, llamado Aicuña, la frecuencia es mucho más alta: 1 de cada 90 personas es albina. Se cree que esta condición de la población probablemente sea el resultado de la deriva génica de tipo "efecto fundador".

» La ciencia en relación con la tecnología, la sociedad y el ambiente.

ACTIVIDADES

1. ¿Qué conceptos aparecen en los postulados del neodarwinismo, que no estaban presentes en lo que postuló Darwin? ¿Por qué?

2. ¿Por qué las migraciones pueden aumentar la variabilidad genética? ¿Qué otra fuente de variabilidad genética es importante en las poblaciones?

3. ¿En qué condición (en relación con los mecanismos vistos en esta página) creen que se encuentran las especies en vías de extinción y por qué?

## El origen de nuevas especies

Existen varias definiciones de especie, y todas resultan, en algún punto, incompletas. Una de las más aceptadas es la que se dio en el capítulo 1, que tiene base en la definición brindada por uno de los fundadores del neodarwinismo, Erst Mayr:

*"Una especie es un grupo de poblaciones cuyos miembros se cruzan o pueden potencialmente cruzarse entre sí, y dar lugar a descendencia fértil, y no pueden reproducirse con los miembros de poblaciones pertenecientes a otras especies".*

Cuando una parte de una población ya no pueden cruzarse con los miembros de la población original, se está frente a un proceso de **aislamiento reproductivo**, y esto es un factor fundamental en la generación de nuevas especies. Puede ocurrir de forma gradual, lo que se conoce como **especiación por divergencia**, o más raramente, en pocas generaciones, que se llama **especiación instantánea**.

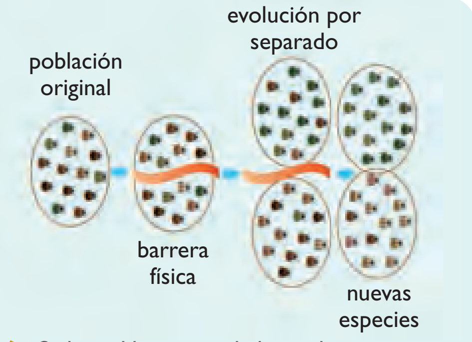
### Especiación por divergencia

Este mecanismo de formación de nuevas especies se caracteriza por la generación gradual del aislamiento reproductivo. De acuerdo con la forma en la que se produce el aislamiento, a su vez, la especiación puede ser **alopátrica**, **parapátrica** o **simpátrica**.

**Especiación alopátrica**

Se produce a través de la separación geográfica de una población original por acción de una barrera física, que impide que los individuos que quedan a uno u otro lado, puedan reproducirse.

La separación geográfica puede ocurrir de distintas formas: la aparición de una cordillera, el surgimiento de una isla, la desviación de un curso de un río o una inundación. Los grupos de individuos que quedan aislados geográficamente no pueden intercambiar genes con los de la población original. Luego, ya sea por acción de la selección natural o de la deriva genética, estas poblaciones aisladas pueden acumular cambios y derivar en nuevas especies.




*Si dos poblaciones aisladas evolucionan por separado, pueden originar dos especies distintas.*

CIENCIA **EN ACCIÓN**

**El problema de definir "especie"**

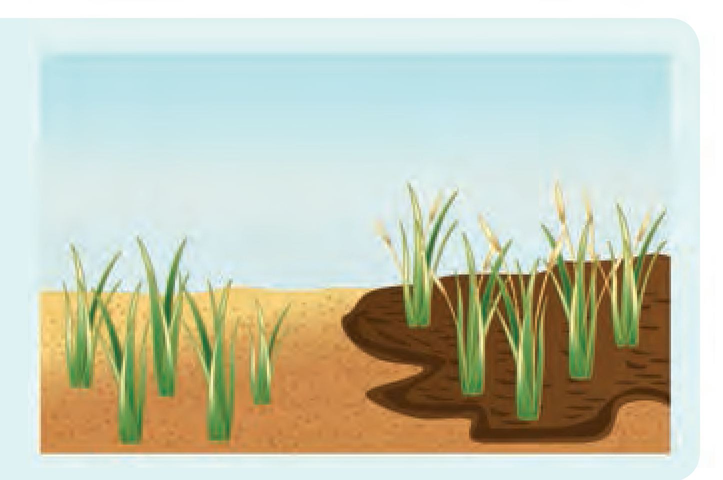
Los neodarwinistas eran en su mayoría zoólogos o genetistas que trabajaban con especies que se reproducen de manera sexual. Para ellos, la definición de especie de Mayr tiene sentido. Pero para otros biólogos, como los que trabajan con bacterias, definir qué es una especie es una tarea compleja. El criterio para considerar que dos bacterias son de distintas especies tiene que ver con la comparación de sus características. Algunas especies que se reproducen asexualmente también pueden originar nuevas especies por los procesos mencionados en esta página, ya que existe entre ellas cierto intercambio de genes que, dada una barrera física, dejaría de existir.

›› La ciencia en relación con la tecnología, la sociedad y el ambiente.



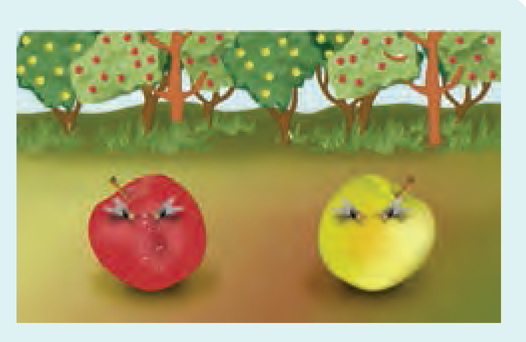

*Los pinzones que Darwin observó en las Islas Galápagos se habrían originado por especiación alopátrica. El mar actuó como barrera geográfica, y en cada isla, por acción de la selección natural, subsistieron los individuos cuyos picos les permitían obtener la comida disponible con mayor eficiencia.*

**Especiación parapátrica**
Este tipo de especiación es menos frecuente. Ocurre sin barreras geográficas, pero en territorios contiguos en los que algunas condiciones cambian, y actúan como presión de selección. Los individuos seleccionados tienen una composición genética distinta, y con el tiempo pueden evolucionar en una nueva especie.



*Aunque no hay una barrera geográfica, en este caso los residuos mineros tóxicos "seleccionan" las variedades resistentes, que pueden derivar en una nueva especie, incapaz de cruzarse con la original.*

**Especiación simpátrica**
Ocurre en el mismo territorio y, en este caso, el aislamiento reproductivo no responde a factores geográficos. Sino, por ejemplo, a que al aparecer una nueva fuente de alimento, un grupo de la población comienza a consumirlo y a frecuentar la zona en la que está dicho alimento. Los cambios se acumulan en este grupo hasta que ya no puede cruzarse con el otro. Otro caso de especiación simpátrica ocurre cuando algunos individuos empiezan a reproducirse en una época del año distinta al resto. Por eso, no se cruzan con el grupo original y, con el tiempo, se generan especies aisladas reproductivamente, es decir, que ya no podrían reproducirse. Esto ocurre, por ejemplo, con algunas especies de pinos.



*Cuando dos grupos de una población empiezan a ocupar distintos subambientes, quedan aislados reproductivamente y pueden evolucionar hasta ser especies diferentes.*



## Especiación instantánea

A diferencia de los mecanismos anteriores, la especiación instantánea ocurre en un lapso mucho menor, y en forma no gradual. Recibe el nombre de **especiación peripátrica**, y en general ocurre por efecto fundador o cuello de botella, cuando un grupo pequeño de individuos origina una nueva población. Las plantas tienen un mecanismo propio de especiación instantánea que puede darse, incluso, en dos generaciones. Dos especies distintas se cruzan y generan una especie híbrida; la especie híbrida sufre una mutación que la hace fértil, y de este modo, se constituye una nueva especie. A esto se lo llama **especiación cuántica**.

**ESTUDIO** DE CASO



¿Con qué mecanismo/s de especiación está relacionada la generación de plantas domésticas?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

ACTIVIDADES

1. Si dos poblaciones se aíslan geográficamente, ¿ya constituyen especies distintas? ¿Qué debe ocurrir?

2. ¿Cómo puede ser que dos poblaciones generen especies diferentes en el mismo territorio?

3. ¿Con qué mecanismo/s de especiación se relaciona la deriva genética? ¿Cómo se relaciona en cada caso?

A Darwin se lo caricaturizaba junto a un mono sosteniendo un espejo. Esta era una de las tantas expresiones de crítica y descrédito por parte de sus opositores.

## Las críticas a la teoría de Darwin

La propuesta de Darwin fue objeto de numerosas críticas en su época, que provinieron de diferentes sectores. Uno de los cuestionamientos provenía de científicos religiosos, quienes rechazaban la idea de que la variación biológica se produjera sin la voluntad de un Creador (o Dios). Desde estos ámbitos, no era fácil aceptar que la diversidad de la vida era producto del azar y de la selección natural y no de una inteligencia superior, por lo que planteaban argumentos en contra de las ideas de Darwin. Estas posiciones, denominadas teístas, fueron abandonadas a finales del siglo XIX por no presentar una base científica. Actualmente, la ciencia y la religión están separadas y pueden convivir en la mente de cualquier persona, muchos adeptos a la teoría de Darwin eran (y son) personas de fe religiosa.

Sin embargo, estas no fueron las únicas críticas al naturalista; también surgieron otras críticas con fundamentos y argumentos científicos, que fueron formuladas de acuerdo con el conocimiento de la época.

Una de estas críticas fue el hecho antes mencionado, de que algunas especies presentan características no adaptativas. Este misterio fue explicado por el neodarwinismo a través del mecanismo de deriva génica.

### El problema del registro fósil discontinuo

La teoría de Darwin proponía la idea de que los cambios evolutivos eran graduales, paulatinos, sin modificaciones abruptas. Sin embargo, el registro fósil de la época mostraba importantes "saltos" entre las diferentes formas de una línea evolutiva, lo cual fue señalado por algunos investigadores de la época. En efecto, el registro fósil muestra cambios no graduales, así como el origen abrupto de variedades que no estaban presentes previamente. Respecto a este cuestionamiento, Darwin respondió en su momento que, desde su perspectiva, el registro fósil estaba incompleto, es decir, faltaba descubrir fósiles: las formas intermedias. Si bien con el tiempo algunos de los fósiles "intermedios" fueron efectivamente hallados, aún persistió una gran parte de ellos con patrones discontinuos. Si bien los neodarwinistas tienen la misma postura que Darwin con respecto a la discontinuidad del registro fósil, es un punto aún sin resolver de la teoría darwiniana.

*El registro fósil no representa la evolución gradual que planteaba Darwin, sino que muestra cierta discontinuidad. Esto fue un argumento de los críticos de su teoría, tanto en el pasado como en la actualidad.*

## El problema de la edad de la Tierra

Dado que la teoría de Darwin proponía la idea de pequeñas y graduales modificaciones, el tiempo total necesario para que la diversidad de los organismos existentes se haya generado a partir de un ancestro común, de este modo, tendría que ser de muchos millones de años, mucho más de lo que hasta aquel entonces era considerada la edad de la Tierra. A raíz de la teoría de Darwin, se realizaron nuevos experimentos y se encontró que la edad de la Tierra era mayor, pero no lo suficiente como para ser coherente con la teoría. Esto parece mostrar que ciertos cambios tuvieron que haberse dado más rápido de lo que Darwin creía.

Este hecho y el registro fósil discontinuo son explicados en la actualidad por nuevas teorías acerca de la evolución.

*Se calcula que la Tierra tiene aproximadamente 5.000 millones de años. Este tiempo no habría sido suficiente para que todos los cambios en los seres vivos se produjeran de forma gradual.*

## La vigencia de Darwin

La evolución no es una teoría, es un hecho. Las teorías son las que explican cómo pudo haber sucedido. La de Darwin es, sin dudas, la más significativa de estas teorías. A pesar de sus críticas (tanto desde la ciencia como por fuera de ella), fue aceptada y consolidada en la teoría sintética de la evolución, y sigue siendo la base sobre la cual se elaboran nuevas teorías que discuten alguno de los aspectos del darwinismo. Todo este recorrido devela una característica muy importante del conocimiento científico: es parcial y provisorio, necesita ser revisado, ampliado y, en ciertos casos, reemplazado por conocimiento nuevo. Esto no representa un problema de la actividad científica, sino que es una parte del propio carácter científico de las teorías.

En el 2009 se cumplieron 150 años de la publicación de la primera edición de *El origen de las especies*. Alrededor del mundo, ese año, se realizaron innumerables homenajes, charlas, exposiciones y demás actividades, manifestando el respeto que la biología le debe a este naturalista.



*En este dibujo de lo representa a Darwin como un gigante junto a las islas Galápagos.*



### CIENCIA **EN LA NET**



Ingresen al buscador Google y escriban "Charles" en el campo de búsqueda. ¿En qué orden de importancia aparece Darwin? Cuando completen el nombre "Charles Darwin", tomen nota del número de resultados obtenidos para esa búsqueda. ¿Qué creen que implica ese número?

En el siguiente sitio de la Universidad Nacional de La Plata, encontrarán información sobre Darwin y la Argentina: http://goo.gl/QdbQme.

›› Uso de TIC en la búsqueda y análisis de información.

### ACTIVIDADES

**1.** ¿Cuáles son las críticas al darwinismo?

**a.** ¿Cómo podrían agruparse las críticas que se le hicieron a Darwin?

**b.** ¿Qué aspectos de la teoría de Darwin van en contra de la evidencia del registro fósil discontinuo y la edad de la Tierra? ¿Por qué?

**c.** ¿Qué críticas persisten desde la ciencia?

**2.** ¿Qué significan el cuaderno y la lupa en el dibujo de Darwin?

## Otra forma de explicar el registro fósil

En 1972, Stephen Jay Gould (1941-2000) y Niles Eldredge (1943-), dos paleontólogos estadounidenses que apoyaban la teoría de Darwin, analizaron los problemas de la discontinuidad del registro fósil y de la edad de la Tierra. Eran críticos del gradualismo propuesto por Darwin y por la teoría sintética de la evolución. Ellos creían que el registro fósil no era discontinuo por estar incompleto, sino que reflejaba la evolución, ya que esta no sucede gradualmente. Para poner a prueba los aspectos del darwinismo sobre los que tenían dudas, realizaron un estudio sobre fósiles de animales extintos, evidencia en la que eran expertos.

### EXPERIMENTOS EN PAPEL



**¿El registro fósil está incompleto o refleja exactamente la evolución de las especies?**

HIPÓTESIS: las especies no evolucionan de forma gradual, sino que lo hacen de a "saltos" evolutivos que se observan como discontinuidades en el registro fósil.

PREDICCIÓN: si se analiza una línea evolutiva que tiene un registro fósil muy completo con piezas muy bien fechadas, se observará que hay un cambio muy abrupto en fósiles próximos en el tiempo.

PROCEDIMIENTO: Neils Eldredge observó, de forma minuciosa, colecciones enteras de trilobites, un organismo extinto de la era Cámbrica.

RESULTADOS: los fósiles correspondientes a un período de ocho millones de años parecieron pertenecer a una misma especie, con pequeños cambios en el tamaño y en la forma del caparazón, pero observaron grandes cambios en fósiles de un lapso menor de tiempo, de solo un millón de años. En estos casos, no se encontraron las formas intermedias.

CONCLUSIÓN: las especies aparentemente tienen pocas variaciones en un lapso grande, y grandes variaciones en un lapso pequeño, en las que aparecen las nuevas especies, sin evidentes transiciones.



*La especie extinta estudiada por Eldredge fueron los trilobites.*

›› El análisis de experimentos y observaciones históricas.



*Stephen Jay Gould, además de paleontólogo, era un importante divulgador científico y defensor de que se enseñe la teoría de la evolución en todas las escuelas de los Estados Unidos.*

Sobre la base de sus observaciones, Gould y Eldredge supusieron que las especies habrían pasado por períodos de gran estabilidad y, en un período breve de catástrofes geológicas que llevaron a la generación de barreras geográficas, a la reducción brusca de la cantidad de individuos de las poblaciones o a la migración acompañada de aislamiento reproductivo. Así habrían surgido gran cantidad de especies en un tiempo relativamente corto (en escala de tiempo geológico).

Esta explicación también podía justificar que se haya desarrollado tanta biodiversidad, tanto en el pasado como en el presente, en el "corto" tiempo de existencia de vida en la Tierra.

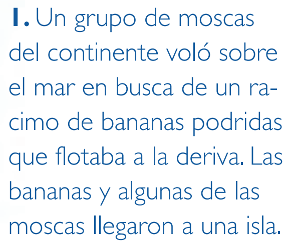
## La teoría de los equilibrios puntuados

La explicación propuesta por Gould y Eldredge se llamó "Teoría de los equilibrios puntuados". Esta teoría se basa en los siguientes conceptos:

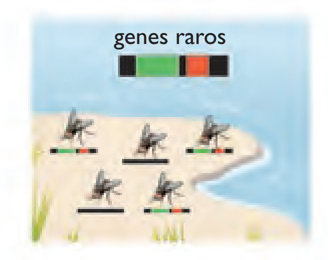
* El ritmo con el que evolucionan las especies no es constante;
* las especies atraviesan períodos largos de estabilidad llamados estasis. Durante la **estasis** actúa la selección natural de forma gradual, y los cambios son pocos. Estos períodos corresponden al "equilibrio" en las especies;
* una cantidad grande de nuevas especies se producen en períodos cortos, por acción de mecanismos de especiación peripátrica o instantánea. Este fenómeno recibe el nombre de **puntuación**; los tiempos de aparición de nuevas especies son tan veloces que podrían considerarse "puntos" dentro de una escala geológica.

Como se dijo anteriormente, la especiación peripátrica o instantánea es un tipo de especiación alopátrica que se produce muy rápidamente y que tiene que ver con el efecto fundador o el cuello de botella, es decir, cuando solo unos pocos individuos originan una nueva población que queda aislada reproductivamente de la original.





**1.** Un grupo de moscas del continente voló sobre el mar en busca de un racimo de bananas podridas que flotaba a la deriva. Las bananas y algunas de las moscas llegaron a una isla.



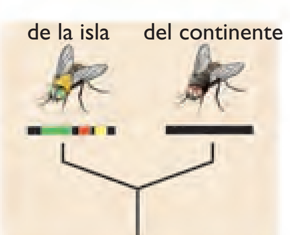

**2.** Las moscas que llegaron a la isla, por azar, tienen genes que casi no están presentes en las moscas que quedaron en el continente.

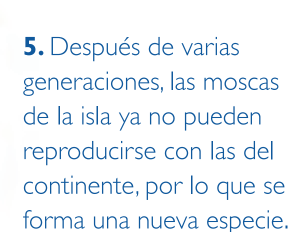


**3.** Los genes raros de las moscas de la isla son heredados a sus hijos y rápidamente, todos los individuos de la isla tienen esta información genética.



**4.** Se producen nuevos cambios en la población por selección natural (algunos individuos con ciertas características son favorecidos por el ambiente y dejan más descendencia).



**5.** Después de varias generaciones, las moscas de la isla ya no pueden reproducirse con las del continente, por lo que se forma una nueva especie.



CIENCIA **EN ACCIÓN**

### La teoría del diseño inteligente

En la década de 1980, un grupo de creacionistas tomaron conceptos y términos de la ciencia para explicar de qué manera, según ellos, se produce la evolución. Estas personas consideran que la evolución de las especies es producto del diseño de un ser inteligente (superior a los humanos), así difunden estas ideas bajo el nombre de teoría, pero no tiene validez científica, motivo por el cual no es aceptada por la comunidad científica mundial. Los argumentos de los defensores del diseño inteligente plantean que los seres vivos son demasiado "perfectos" como para haber evolucionado de forma azarosa. Gould rebatía este argumento explicando que existen muchas características de los seres vivos que distan de la perfección, y dedicó su vida a escribir ejemplos de esto.

›› La relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

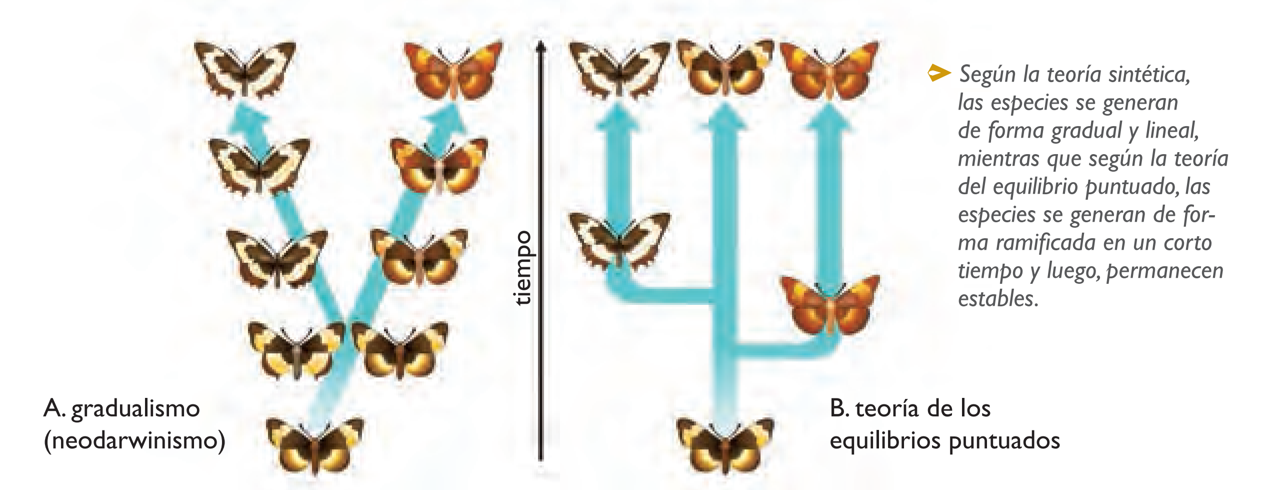
ACTIVIDADES

1. ¿Por qué la teoría del equilibrio puntuado se ajusta más a lo que muestran los restos fósiles que la teoría sintética de la evolución?
2. ¿Cómo deberían ser los registros fósiles si el único mecanismo de generación de especies fuera la selección natural actuando de forma gradual?
3. ¿A qué grupo de críticos pertenecen los defensores de la Teoría del diseño inteligente?

## La teoría sintética vs. el equilibrio puntuado

Las diferencias entre la teoría sintética y la teoría del equilibrio puntuado se basan en el tiempo y en el modo de generación de especies. Para la teoría sintética, las especies se originan una a partir de otra, de forma lineal y por la acción preponderante de la selección natural sobre la acumulación gradual de mutaciones, en un ritmo más o menos constante. Para la teoría del equilibrio puntuado, las especies se generan en mosaico o en forma muy ramificada, es decir que de una especie pueden surgir varias casi al mismo tiempo; esto ocurre en un lapso breve, a través de mecanismos de especiación peripátrica, en los que, además de la selección natural, tiene una gran influencia el azar.

| | Teoría sintética de la evolución (neodarwinismo) | Teoría del equilibrio puntuado |
|---|---|---|
| Patrón de evolución | Más lineal: de una especie, surge otra. | Ramificada: una especie da origen a muchas especies casi simultáneamente. |
| Forma en la que se generan las especies | Gradual, por acumulación de mutaciones. | Puntual, en períodos breves de grandes cambios, por mecanismos de especiación peripátrica. |
| Tiempo en el que se generan las nuevas especies | Un lapso geológico extenso. | En poco tiempo, en términos geológicos. |
| Importancia de la selección natural | Mucha. | Tanta como la deriva génica. |
| Ritmo de la evolución | Regular, a una velocidad relativamente constante. | No regular, con períodos de grandes apariciones y desapariciones, y momentos de aparente equilibrio (estasis). |
| Motivo de la ausencia de formas fósiles intermedias | Imperfección del registro fósil. | Imposibilidad de fosilización de las formas intermedias debido a la velocidad de los cambios. |




*Según la teoría sintética, las especies se generan de forma gradual y lineal, mientras que según la teoría del equilibrio puntuado, las especies se generan de forma ramificada en un corto tiempo y luego, permanecen estables.*

Cabe destacar que estas dos teorías no son totalmente excluyentes. Aunque de acuerdo con la teoría del equilibrio puntuado, la especiación se produce de forma rápida, esta teoría considera que durante los períodos de estasis, las especies se ven sometidas a presiones de selección que actúan de forma gradual. El cambio puntuacional por mecanismos que involucran el azar y el cambio gradual por selección natural pueden ser considerados dos mecanismos que actúan juntos en el cambio evolutivo, junto con otros factores y mecanismos complejos que contribuyen al cambio y que se están estudiando en la actualidad.





# La especiación y la acción humana

Muchas actividades humanas promueven y aceleran procesos evolutivos que naturalmente ocurrirían en tiempos mucho mayores. En gran medida, la reducción de los hábitats naturales, la contaminación de los ecosistemas, la caza y la pesca desmedida y la introducción de especies exóticas generan un impacto negativo sobre gran cantidad de especies, impacto que puede llevar a la extinción total de muchas de ellas.

Hay casos, no obstante, en los que la presencia del ser humano en un determinado ambiente provoca otros efectos en las especies. Se han registrado casos en los que, en vez de promover la extinción, se estimula la generación de especies híbridas dentro de una familia de especies relacionadas.

Eric Taylor, de la Universidad Columbia Británica en Canadá, realizó un estudio con un grupo de especies de peces marinos de aguas frías del género Gasterosteidae. La especiación dentro de este género se habría producido hace unos 11.000 años, cuando se formaron los lagos al final de la era glacial. Los peces quedaron dentro de los lagos aislados del mar, lo que dio origen a dos especies: una muy esbelta y rápida que se dedica a cazar en agua abierta pequeños invertebrados, y otra más redondeada que se alimenta en aguas tranquilas. Las dos especies pueden producir descendencia viable si se cruzan entre sí, pero esto era muy poco frecuente, sucedía en menos de un 1% con relación al total de los cruzamientos. Registros de 1999 en adelante mostraron un aumento significativo en la cantidad de híbridos fértiles, lo que pone en evidencia que, de algún modo, los híbridos están siendo seleccionados. Se sospecha que este fenómeno coincidió con la introducción por parte del ser humano de una especie de peces foráneos que modificaron las relaciones en el ecosistema.



*Pez del género* Gasterosteidae.

Otro estudio realizado en las Islas Galápagos registró un efecto similar en dos especies de pinzones (las aves estudiadas por Darwin durante su viaje en el HMS Beagle), una de pico grande y otra de pico pequeño, presentes en la Isla Santa Cruz, que es la que tiene la población humana más abundante. Estas especies pueden hibridarse, y dar origen a individuos de pico mediano. A partir de 1999 se detectó un aumento importante en la cantidad de pinzones de pico mediano, y se cree que la presión de selección ha sido el cultivo de plantas foráneas por parte del ser humano, por ejemplo el arroz, para las cuales resulta adaptativo el pico de tamaño intermedio.

- **¿De qué modo creen que el impacto del ser humano puede llevar a la extinción de especies?**
- **¿Qué debe pasar con los individuos híbridos para que establezcan una nueva especie?**
- **Si en estos dos casos los híbridos conforman una nueva especie, mejor adaptada al ambiente modificado por el ser humano, ¿la diversidad de especies estará aumentando o disminuyendo? ¿Por qué?**

›› Relación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente.

# ¿El aislamiento reproductivo contribuye a la especiación?

La biología evolutiva es una de las áreas de investigación científica en la que rara vez pueden demostrarse teorías de forma experimental, debido a las características de los fenómenos que estudia. Por ejemplo, no es posible trabajar con seres biológicos extintos ni poner a prueba eventos que naturalmente sucederían en millones de años. Lo que se hace es observar las evidencias (el registro fósil, la distribución de especies, etc.) y establecer hipótesis que puedan explicar cómo evolucionaron las especies.

Sin embargo, Diane Dodd, de la Universidad de Yale, realizó un experimento con moscas de la fruta, a través del cual puso a prueba la especiación alopátrica.

Esta especie de mosca presenta un muy buen modelo para estudiar la evolución de una población en corto tiempo, debido a que pueden obtenerse varias generaciones en un período relativamente corto, ya que esta especie tiene ciclos de vida también cortos.



Drosophila melanogaster *(mosca de la fruta).*



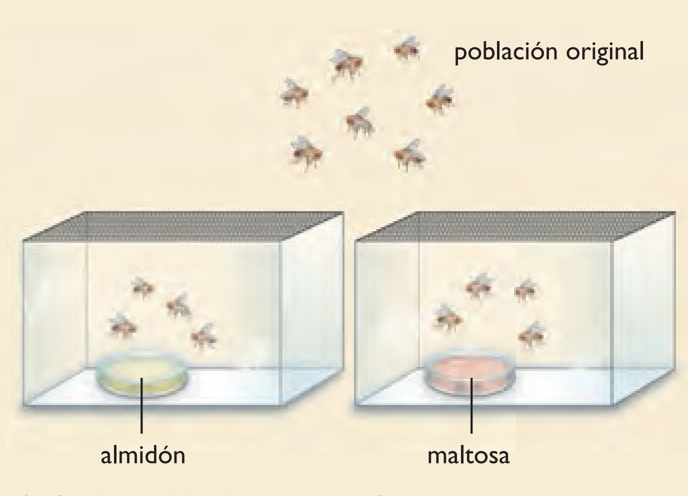
[**HIPÓTESIS**] El aislamiento geográfico puede generar especiación.

[**PREDICCIÓN**] Si se separa una población de moscas en dos grupos y a cada grupo, se lo somete a condiciones ambientales diferentes, luego de varias generaciones, los grupos no podrán reproducirse entre sí.

[**PROCEDIMIENTO**]

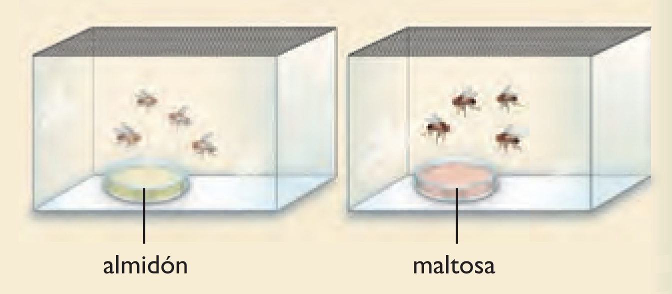
La investigadora trabajó con una población de moscas de la fruta, y las dividió en poblaciones independientes en peceras diferentes para simular aislamiento geográfico.

A las moscas de una pecera les ofrecía como alimento exclusivamente almidón (un hidrato de carbono complejo), y a las de la otra pecera les ofrecía como alimento, exclusivamente, maltosa (otro hidrato de carbono, en este caso simple).




*Simulación del aislamiento geográfico.*

Después de que las moscas de cada grupo produjeron varias generaciones bajo las condiciones a las que se las estaba sometiendo, puso en las mismas peceras a moscas de ambas peceras, y midió la frecuencia de apareamiento.




*Cambios en los dos grupos de moscas luego de varias generaciones.*

## [RESULTADOS]

En la prueba de apareamiento, las moscas de la jaula de maltosa preferían moscas de su misma jaula, y lo mismo sucedió con las moscas de la jaula del almidón. Los cruces entre las moscas de jaulas disintas fueron menos frecuentes.



*Los apareamientos entre moscas provenientes de una misma pecera eran más frecuentes que los apareamientos entre moscas de distintas peceras.*



## [ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS]

**1.** ¿A qué conclusiones creen que arribó la investigadora a partir de los resultados?

**2.** ¿Aceptarían la hipótesis que se plantea en este taller? ¿Y la predicción?

**3.** Al final del experimento, ¿ya hay especies diferentes? ¿Qué debe suceder para que sean especies diferentes?

**4.** ¿Actuó la selección natural? ¿En qué etapa del experimento?

**5.** ¿Se puede asegurar que si las peceras hubieran tenido el mismo alimento no hubiera habido cambios en las subpoblaciones? ¿Por qué? ¿Qué otro mecanismo evolutivo pudo haber influido? ¿De qué forma?

## ACTIVIDADES

1. ¿Por qué *Drosophila melanogaster* es un buen modelo para estudiar la evolución?
2. ¿Cómo contribuyó este experimento a las teorías acerca del origen de las especies?
3. ¿Cómo se relaciona el experimento con lo que observó Darwin en las islas Galápagos?
4. ¿Este experimento confirma que todas las especies emparentadas que se encuentran aisladas geográficamente se produjeron por especiación alopátrica? ¿Por qué?
5. ¿Se puede demostrar inequívocamente cómo se generó cada especie existente en el planeta?

## ESTUDIO DE CASO



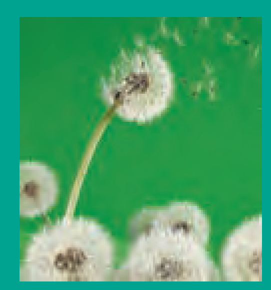
Al principio del capítulo se explicó cómo es que se generan nuevas variedades de algunas plantas por causa de la intervención humana. Pero el tipo de intervención que se describe no es absolutamente consciente, es decir, las personas que plantan las semillas de las plantas que sembraron la temporada anterior, no buscan, por ejemplo, aislar reproductivamente dos subpoblaciones de la especie. Como vimos, lo que ocurre en muchos casos es que el aislamiento reproductivo se produce porque la variedad que se siembra cada año termina teniendo otro período de floración (las flores son los órganos reproductores de las plantas).

1. Esto podría compararse con un tipo de especiación vista en este capítulo en la que, si bien dos subpoblaciones comparten un mismo ambiente, pueden quedar aisladas reproductivamente por otros factores, como alimentarse en distintas zonas. ¿Cuál es este tipo de especiación?
   a. En el ejemplo de los cultivos, ¿los humanos son un factor seleccionador?

2. ¿El caso de las plantas que tienen frutos, que son dispersados por los animales que los comen, es un caso de selección natural? ¿Y el de las semillas dispersadas por el viento?



Moras.



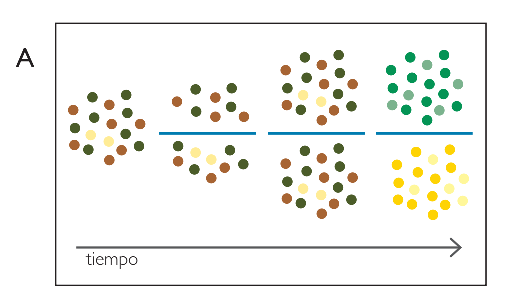
Panadero.

3. Cuándo una población evoluciona por deriva genética, ¿se pueden hacer predicciones acerca de qué cambios se observarán en futuras generaciones? Y en el caso de la selección natural, ¿es siempre posible hacer este tipo de predicciones?

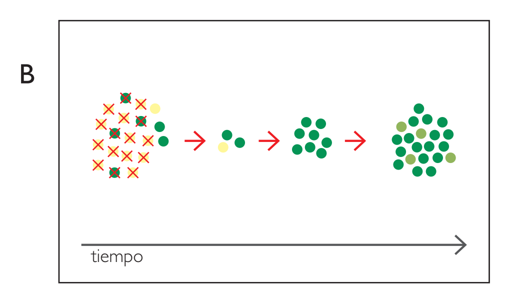
4. Indiquen a qué teoría corresponden los siguientes enunciados.
   a. La aparición de especies ocurre en un ritmo regular.
   b. Por largos períodos, las especies sufren pocos cambios.
   c. El mecanismo que determina la generación de nuevas especies es fundamentalmente la selección natural.
   d. Los cambios se acumulan de forma gradual en los genes, y pasan de generación en generación.
   e. Las especies se generan en un lapso breve por mecanismos distintos de la selección natural.

5. ¿Cuáles son los mecanismos de evolución de la población o de especiación que están actuando en las siguientes situaciones? Justifiquen su elección.

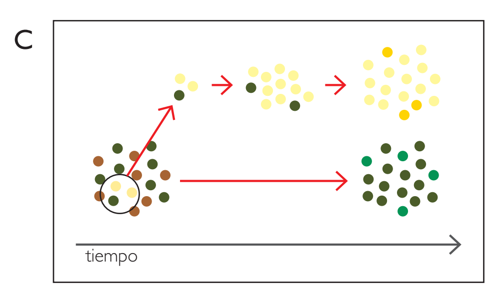
A




B




C




6. El país vasco es una región de España limítrofe con Francia. Un alto porcentaje de habitantes de dicha región tiene un grupo sanguíneo particular, O Rh negativo. ¿A través de qué fenómeno puede explicarse que se presente tan a menudo esa característica en esta zona?

7. Los yaguaretés están en peligro de extinción en nuestro país. Si se toman medidas adecuadas para reconstituir las condiciones del hábitat natural de forma tal que la pequeña población inicial crezca, ¿qué creen que pasará con la variabilidad genética? ¿A qué fenómeno correspondería este proceso?

8. Muchas parejas humanas tienen dificultades para tener hijos, en muchos de estos casos, la mujer y el hombre son totalmente fértiles (de hecho, en algunos casos, ambos han tenido hijos con otras parejas), pero juntos no logran la fecundación o el avance normal de la gestación. Estas parejas, en la mayoría de los casos, pueden recurrir a tratamientos médicos que les permiten tener hijos. Reúnanse en grupos y discutan las siguiente preguntas.

a. ¿Qué podría ocurrir con la población humana si no existiera la tecnología para permitir que estas parejas tengan hijos?
b. ¿La evolución es algo que ocurrió solo en el pasado?
c. ¿En la actualidad sería probable que la especie humana genere una nueva subespecie por un proceso de especiación alopátrica? ¿Por qué?

9. Los perros son una especie relacionada con los lobos que ha sido domesticada y transformada por el ser humano desde hace aproximadamente 10.000 años, esto es muy poco tiempo en una escala geológica. Imaginen que son un paleontólogo o una paleontóloga del año 3014 y, sin saber nada de perros, de lobos ni de su relación con los humanos, descubren el siguiente registro fósil: esqueletos de lobos y de perros primitivos de millones de años de antigüedad y luego, en el estrato correspondiente a los últimos 11.000 años, encuentran esqueletos de caniches, ovejeros, pitbull, dálmatas, chihuahuas, y otras razas de perro. ¿Bajo qué teoría explicarían este cambio? ¿Por qué?

10. Luego de haber leído este capítulo, ¿qué aprendieron acerca de cómo se originan las especies?

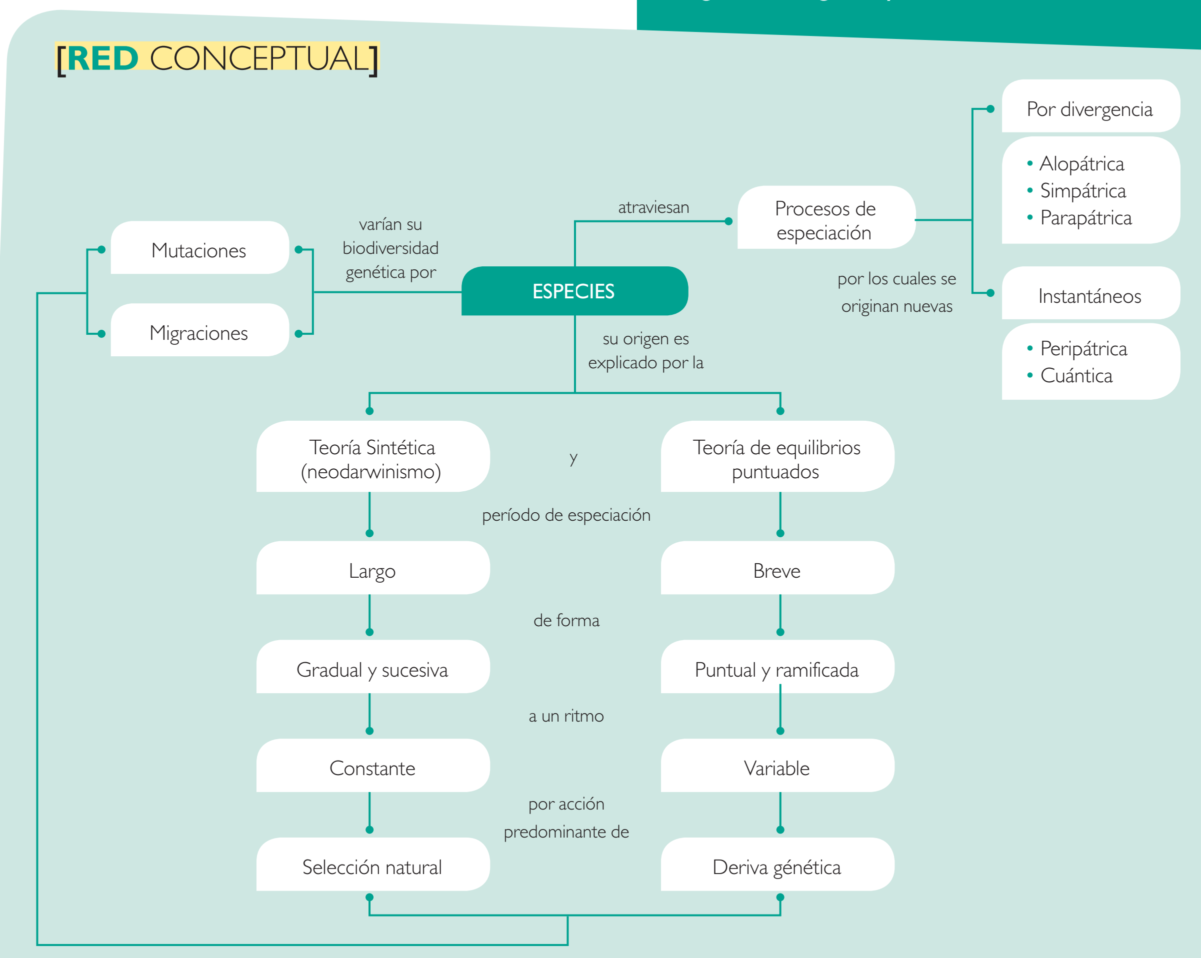
11. Vuelvan a responder a las preguntas del comienzo del capítulo. ¿Coinciden sus respuestas nuevas con las que dieron originalmente? ¿En qué cambiaron?

12. ¿Qué tema les interesó más? ¿Por qué?

13. ¿Qué tema no entendieron? ¿Sobre cuál les gustaría seguir leyendo?

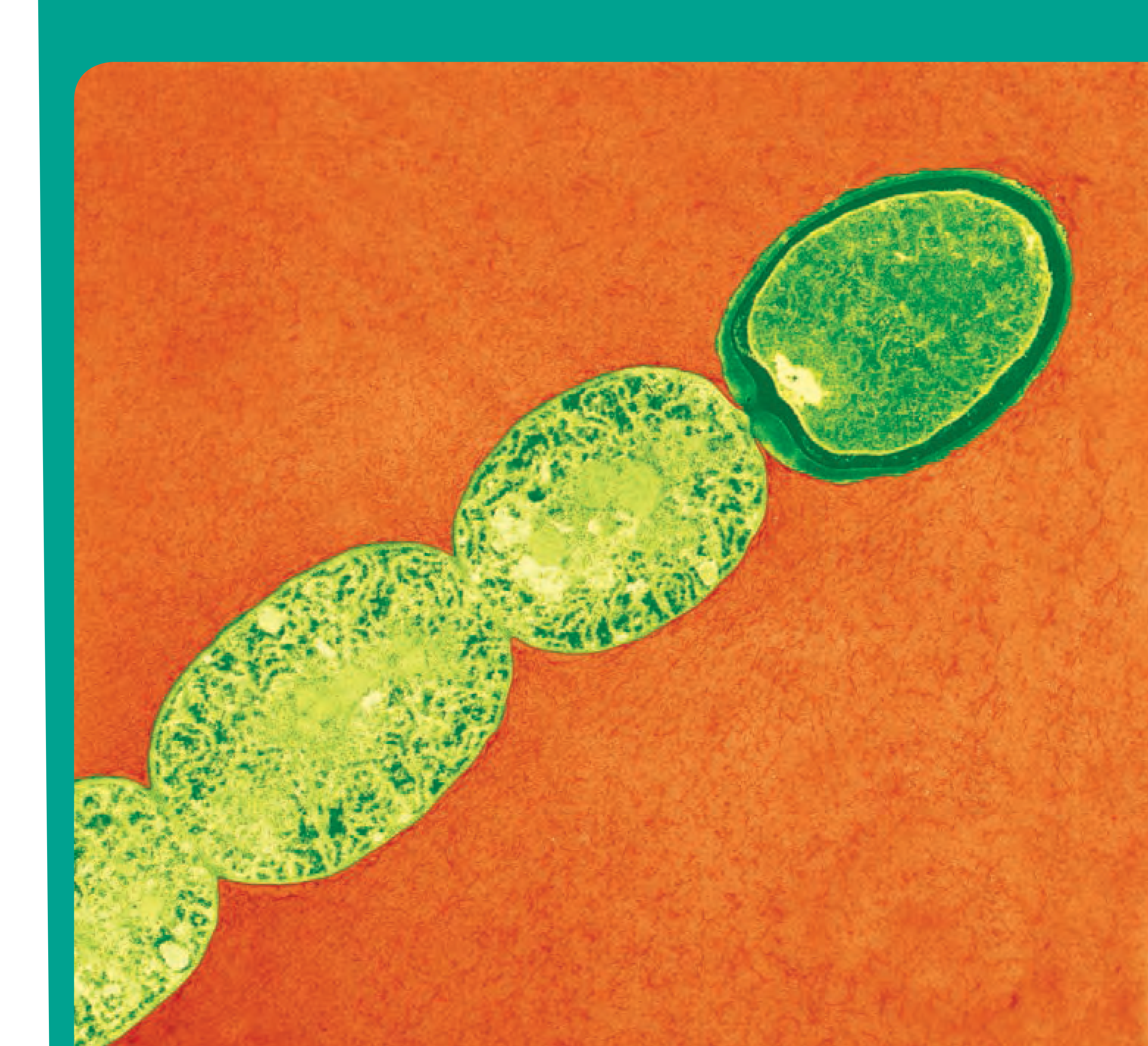


## [RED CONCEPTUAL]



Contenidos: Fin de la teoría de la generación espontánea • Experimentos de Pasteur • Origen de la vida en la Tierra: hipótesis • Evolución prebiótica • Nuevos hallazgos sobre el origen de la vida • Primeros seres vivos • Exobiología • Nutrición de los primeros seres vivos • Comienzo de la fotosíntesis

# 4
# El origen de la vida



# [ESTUDIO DE CASO]



## La gran catástrofe del oxígeno

Durante unos mil millones de años, la vida se desarrolló en nuestro planeta sin mayores percances, hasta que, hace 2.800 millones de años, comenzó a sobrevenir un cambio que arrasó con la mayor parte de las formas de vida, transformando drástica e irreversiblemente la atmósfera y provocando cambios climáticos y geológicos sin precedentes.

En esa época lejana, cuando la Tierra estaba habitada solo por bacterias, algunas de ellas evolucionaron desarrollando la capacidad de realizar fotosíntesis, de capturar la energía del Sol para fabricar sustancias. Este proceso, que sustenta hoy día la vasta mayoría de la vida, tiene un producto de desecho hasta entonces inexistente: el oxígeno gaseoso. Por supuesto que los átomos de oxígeno existían, pero siempre combinados con otros componentes, como en el agua. A raíz de la fotosíntesis, comenzaron a acumularse moléculas de gas oxígeno en la atmósfera. La liberación de esta sustancia tuvo dramáticas consecuencias en todo el mundo, como la deposición de grandes cantidades de óxido de hierro (hoy, nuestra fuente de este metal), o la desaparición del metano atmosférico y su reemplazo por dióxido de carbono, lo que provocó una disminución del efecto invernadero, y una era glacial intensa.

La sustancia que asociamos con la vida es en realidad un químico tan potente que "quema" y cambia lo que toca, y que resulta letal para muchas formas de vida. Las bacterias anaerobias sucumbieron ante esta catástrofe global y aún hoy, los seres humanos “pagamos caro” el uso del oxígeno, pues sigue provocando múltiples daños en nuestras células. Sabemos hoy que el origen de la vida habría sido imposible en condiciones tan corrosivamente oxidantes como las que había en la Tierra. Sin embargo, con el oxígeno libre en la atmósfera y en los mares, se hizo posible la respiración aeróbica, que rinde mucha más energía que la anaeróbica y ha permitido la evolución de seres tan complejos y diversos como los mosquitos y los seres humanos.

* Imaginen que están frente a dos cuerpos de agua. Uno es un arroyo que baja rápidamente, salpicando entre las rocas. El otro es una laguna de aguas profundas y sin movimiento. ¿De cuál de las dos fuentes de agua beberían?

* El tratamiento de efluentes líquidos (como el agua que viene de los inodoros) incluye remover la materia orgánica del agua. Generalmente, esto se realiza haciendo burbujear aire en el líquido, lo cual promueve la destrucción de la materia orgánica. ¿Qué relación existe entre este proceso y la imposibilidad de que la vida se haya originado en una atmósfera oxidante?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos simples utilizando teorías y observaciones personales. Relación entre la ciencia, la historia y la sociedad.

# El fin de la teoría de la generación espontánea

Si bien hoy en día nos resulta evidente que un ser vivo proviene siempre de otro ser vivo, a partir del proceso de la reproducción, este hecho fue comprobado definitivamente recién en el siglo XVII.

Antes de esa época, se creía que la generación de nuevos individuos estaba relacionada con un acto divino, es decir, que no se podía explicar sin la intervención de un ente sobrenatural.

Una de las teorías más importantes y con mayores defensores por parte de los científicos, antes del descubrimiento de la reproducción, fue la **teoría de la generación espontánea**. Este conjunto de hipótesis postulaba que ciertos seres vivos (como los microorganismos, los insectos y los gusanos) podían surgir de la materia inerte o inanimada, sin la intervención de progenitores. Esta teoría fue propuesta inicialmente hace unos 2.500 años por el filósofo griego Aristóteles, quien sostenía que los peces y los insectos se generaban a partir del rocío, del sudor y de la humedad.

## El experimento de Redi

Un experimento que logró cuestionar fuertemente la teoría de la generación espontánea fue realizado por el médico italiano Francesco Redi (1626-1697). En 1668, Redi diseñó una experiencia rigurosa y controlada para comprobar si crecían gusanos sobre la carne en ausencia de moscas.

Con el fin de demostrar que las moscas no nacían de la carne en descomposición, sino de otras moscas, Redi colocó trozos de carne en tres frascos: cerró el primero, dejó abierto el segundo y cubrió el tercero con una gasa para que pudiera pasar el aire. Pocos días después, observó que había larvas de moscas tanto en el frasco que había permanecido abierto como en la gasa que cubría el tercer frasco; en cambio, no había larvas en el frasco cerrado. De esta forma, Redi logró demostrar que las moscas nacían únicamente a partir de otras moscas.

CIENCIA **EN LA HISTORIA**



### Receta para hacer ratones

Jean-Baptista van Helmont (1579-1644) fue un químico, médico y fisiólogo flamenco que realizó numerosas investigaciones. Fue un gran defensor de la teoría de la generación espontánea, a tal punto que realizó un experimento y escribió una "receta para fabricar ratones" a partir de trigo y de ropa sucia. En dicha receta, postulaba: "Basta colocar ropa sucia en un tonel que contenga además unos pocos granos de trigo y, al cabo de 21 días, aparecerán ratones".

» La ciencia como construcción histórica y cultural.



*La aparición de gusanos en la carne podrida se consideraba una experiencia a favor de la teoría de la generación espontánea.*



*El preformacionismo fue una teoría que sostenía que los seres vivos se originaban por el crecimiento de un individuo pequeño, previamente formado, contenido en una célula.*

## El microscopio y la observación de células

La invención del microscopio, alrededor del 1600, y su posterior perfeccionamiento fueron hitos clave para descartar ciertas suposiciones acerca de la generación de los seres vivos. Esta herramienta permitió observar por primera vez los microorganismos (que se reproducen dividiéndose) y las células sexuales (como los óvulos y los espermatozoides de los animales). De esta manera, se pudo observar que los procesos que, según la teoría de la generación espontánea, eran causados por un "principio vital" invisible, en realidad se producían a partir de la presencia de elementos concretos, como microbios o células sexuales.

Aun así, hubo que esperar hasta el siglo XIX para que el químico francés Louis Pasteur (1822-1895) desterrara definitivamente la teoría de la generación espontánea, mediante un famoso experimento.

### EXPERIMENTOS EN PAPEL

**¿Los microorganismos se originan de manera espontánea?**

HIPÓTESIS: los microbios se generan solo a partir de otros microbios.

PREDICCIÓN: si se impide el contacto de un caldo estéril (sin microorganismos) con las partículas de polvo del aire que contienen microbios, el caldo no se pudre.

PROCEDIMIENTO: Pasteur preparó caldo nutritivo (una mezcla de agua y nutrientes donde los microbios se reproducen fácilmente) y lo colocó en globos de vidrio. Luego calentó los globos, de manera de matar todas las células presentes en el caldo, y modeló el cuello de los frascos hasta darles forma de "S". El cuello con forma de S deja salir el vapor, pero impide que entre aire. Varios días más tarde, Pasteur quebró el cuello de los frascos, dejando que el caldo quedara en contacto con el aire.



*Pasteur calentó un caldo nutritivo. Luego moldeó el vidrio para impedir el ingreso de microbios, los cuales solo ingresaron al romper el cuello del envase.*

RESULTADOS: el caldo en los globos de vidrio permaneció inalterado hasta que a estos se les rompió el cuello en S. Luego, en poco tiempo el caldo se pudrió, por la proliferación de microbios.

CONCLUSIÓN: los microorganismos se generan a partir de otros microorganismos. Muchos de estos seres vivos son trasladados por las partículas de polvo del aire. Dado que la forma del cuello de los recipientes impedía el ingreso de polvo y de aire al caldo, este se mantuvo intacto. Cuando el caldo se expuso al aire, el polvo y los microbios que este trasporta se depositaron en el caldo, y al poco tiempo lo "pudrieron", debido a la multiplicación de seres vivos en su interior.

›› Análisis de datos experimentales.

### ACTIVIDADES

1. ¿Cómo explicaría Aristóteles la aparición de moho verde en la superficie de un queso? ¿Qué nombre recibe esa teoría?
2. ¿Cuál fue la hipótesis del experimento de Redi? ¿Se pudo comprobar?
3. ¿En qué se diferencia el experimento de Redi del de Pasteur? ¿Cuál fue la importancia de cada uno?

# El origen de la vida en la Tierra

Pasteur logró refutar (es decir, comprobar que no se cumplía) la teoría de la generación espontánea, al demostrar que los microorganismos no se originaban por sí solos, sino que se hallaban suspendidos en el aire y se reproducían en sustancias que les proporcionaban condiciones adecuadas, como el caldo de los frascos, en su experimento. Sin embargo, una gran pregunta continuaba sin respuesta: si todos los seres vivos se originan a partir de otros preexistentes, ¿cómo se generó el primer organismo vivo?

Esta incógnita acompaña al ser humano desde tiempos inmemoriales, y se han planteado distintas teorías, hipótesis y suposiciones al respecto, a lo largo de la historia.

La cuestión sobre el origen de la vida no puede ser corroborada de manera definitiva, dado que se trató de un evento único (o una serie de eventos únicos) ocurrido cuando la Tierra presentaba condiciones muy diferentes de las actuales. Sin embargo, a partir del conocimiento en distintas áreas científicas, como la geología, la física, la química, la astronomía y la biología, se han podido establecer aproximaciones relacionadas con ese momento; por ejemplo, datos relacionados con la edad de nuestro planeta y el momento del surgimiento de los primeros organismos vivos, así como sobre diferentes hipótesis acerca de cómo pudo haberse generado la vida y la probabilidad de que haya pasado de una forma o de otra. De esta manera, se intentan reconstruir los eventos que dieron origen a la vida; por una parte, se investigan procesos químicos capaces de producir componentes presentes en los seres vivos que podrían haberse dado en las condiciones del planeta en aquel momento; por otra parte, se estudian rocas, restos de meteoritos y otros elementos presentes en la corteza terrestre desde épocas muy antiguas, para conocer su composición química y la presencia de restos de seres vivos en ellos. Además, se analizan procesos astronómicos, como por ejemplo la formación de estrellas, de planetas y de otros cuerpos celestes.

Si bien algunas de las explicaciones que se han dado acerca del origen de la vida tienen carácter de suposiciones o conjeturas, debido a que no pueden ser corroboradas, otras, en cambio, son hipótesis científicas, ya que es posible diseñar experimentos que reúnan pruebas que permitan confirmarlas o rechazarlas (como ocurrió con la teoría de la generación espontánea).



*El estudio de la formación de cuerpos celestes es parte de las investigaciones acerca del origen de la vida.*



*El análisis de fósiles permite estimar su antigüedad y su composición química.*



CIENCIA **EN ACCIÓN**

### Dudas existenciales

¿Cuál es el origen de la vida? Esta es una de las preguntas que constituyen una cuestión filosófica, como "¿qué es la felicidad?" y otros interrogantes sobre el sentido de la vida y de la existencia. El ser humano ha buscado respuestas a esta gran pregunta desde distintas perspectivas, científicas, teológicas, psicológicas y filosóficas. Las respuestas que se dan a estos grandes interrogantes afectan, a su vez, a otras cuestiones, como la ética, la existencia de Dios, el alma y el libre albedrío, entre muchas otras.

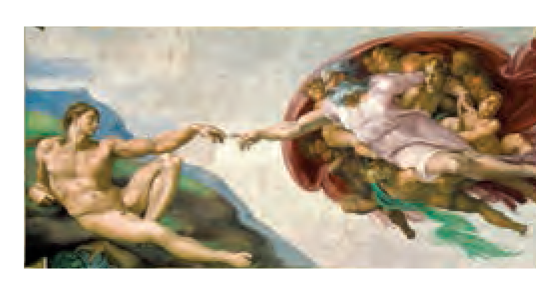
» La ciencia como construcción histórica y cultural.

## Las ideas sobre el origen de la vida

El **creacionismo** es un sistema de creencias que postula que el Universo, los cuerpos celestes y todos los seres vivos que habitan la Tierra fueron creados, tal como los conocemos, por un ser superior o inteligente. Existen distintos enfoques de esta concepción del origen de la vida, los principales son el creacionismo religioso y el diseño inteligente.

El **creacionismo religioso** es la creencia, basada en la fe, de que todo lo que conocemos fue creado por un ser superior todopoderoso, y sus fundamentos se hallan en libros sagrados, de las distintas religiones.

El **diseño inteligente** sostiene que la complejidad observada en la naturaleza no puede ser explicada únicamente a partir de las leyes naturales y del azar. Este enfoque no propone a un Creador en relación con el origen de la vida ni su naturaleza; sin embargo, plantea que existe evidencia de que el Universo fue diseñado de manera inteligente.



*Escena de la creación de Adán, el primer hombre según el Génesis bíblico, realizada por el pintor italiano Miguel Ángel en la Capilla Sixtina del Vaticano, en 1511.*

Como se menciona en el capítulo 3, el movimiento del diseño inteligente surgió en Estados Unidos en 1987 y consiste en un conjunto de suposiciones que no son comprobables. Por eso, la gran mayoría de los científicos rechaza sus afirmaciones y lo consideran una pseudociencia, es decir, una creencia que, a pesar de presentarse como una afirmación científica, no puede ser verificada. Por ejemplo, al afirmarse la existencia de un "diseñador", surge la paradoja acerca de quién diseñó al diseñador.

Otra hipótesis sobre el origen de la vida es la **panspermia** (en griego, *pan* significa "todo", y *spermos*, "semilla"). Esta idea fue propuesta inicialmente por el filósofo griego Anaxágoras (500-428 a. C.) y sostiene que la vida se originó en el espacio exterior y llegó a la Tierra en algún cuerpo celeste, como la cola de un cometa o un meteorito. En 1906, el químico sueco Svante Arrhenius (1859-1927) planteó que las esporas o los "gérmenes de la vida" viajaban por el espacio, y podían "sembrar" vida en los sitios donde encontrasen las condiciones adecuadas. Estas esporas viajarían en el polvo interestelar y serían impulsadas por la energía emitida por las estrellas. Las principales objeciones a esta hipótesis consisten en la escasa probabilidad de que los seres vivos resistan las altas temperaturas y el fuerte impacto del objeto extraterrestre sobre nuestro planeta. Por otra parte, si bien esta hipótesis propone cómo surgió la vida en la Tierra, no explica el origen de la vida en sí.



### CIENCIAS **EN LA NET**



**El "diseño" de la naturaleza**

Ingresen al siguiente sitio de Internet: http://bit.ly/H9k9ON. Lean el artículo de la página 4, donde se le presenta una nota al científico español Francisco Ayala. Luego, conversen sobre los argumentos que plantea este investigador. ¿Con qué teoría está en desacuerdo?

» Uso de TIC en la búsqueda y análisis de información.

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué características tiene una hipótesis científica? Señalen las hipótesis que se mencionan en este tema.
2. ¿Alguna de las ideas sobre el origen de la vida presentadas en estas páginas carecen de fundamentos científicos? ¿Cuáles? ¿Por qué?
3. ¿Es posible determinar de manera inequívoca cómo se originó la vida? ¿Por qué?

## La evolución prebiótica

Actualmente, la hipótesis con mayor adhesión de científicos acerca del origen de la vida es la **abiogénesis**, que sostiene que este fenómeno ocurrió a partir de la materia inanimada.

### La hipótesis de Oparin y Haldane

Las condiciones físicoquímicas en las que pudo emerger la vida fueron propuestas como un conjunto de hipótesis verificadas por primera vez, de forma independiente, por el bioquímico ruso Alexander Oparin (1894-1980) y el biólogo inglés John Haldane (1892-1964), alrededor de 1924.

Según estos científicos, el surgimiento de la vida fue precedido por un período llamado *evolución química*. Hace unos 4.000 millones de años, la composición de la atmósfera era muy diferente de la actual: tenía muy poco oxígeno, o carecía de él; los elementos que componen prácticamente la totalidad de los tejidos vivos (hidrógeno, carbono, oxígeno y nitrógeno) estaban presentes en el agua o en la atmósfera de la Tierra primitiva. Además, la temperatura del planeta era muy elevada. El ciclo del agua sucedía de manera violenta, con fuertes y constantes tormentas eléctricas. Como la capa de ozono no estaba completamente formada, los rayos ultravioleta llegaban desde el Sol de manera directa. Oparin y Haldane propusieron que, a partir de estos elementos y de la gran cantidad de energía presente en la Tierra primitiva, se formaron compuestos orgánicos, que se acumularon en mares y océanos. Esto sería imposible en la actualidad, ya que el oxígeno los degrada; pero en aquellas condiciones, sin oxígeno en la atmósfera, estas moléculas habrían persistido.

Estas moléculas reaccionaban entre sí y generaban moléculas cada vez más complejas. Algunas de ellas lograron rodearse por una membrana que las separaba del medio, y fueron capaces de intercambiar materia y energía con el ambiente. Estas moléculas "envueltas" o coacervados serían las antecesoras de los seres vivos. A partir de este momento, según estos científicos, comenzó la evolución prebiológica.

Los coacervados fueron acumulándose en los mares y asociándose entre ellos. Las moléculas y los agregados más estables sobrevivieron, mientras que los inestables persistieron transitoriamente. Los primeros seres vivos fueron organismos sencillos, parecidos a las bacterias actuales, y se estima que aparecieron hace 3.500 millones de años. A partir de ese momento, comenzó la evolución biológica, que dio origen a todos los seres vivos que habitaron y habitan la Tierra.

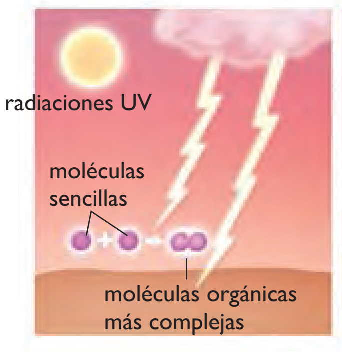


**ESTUDIO** DE CASO

¿Por qué se cree que los primeros compuestos orgánicos que habrían dado origen a los coacervados no hubiesen podido sobrevivir en una atmósfera como la que existe en la actualidad?

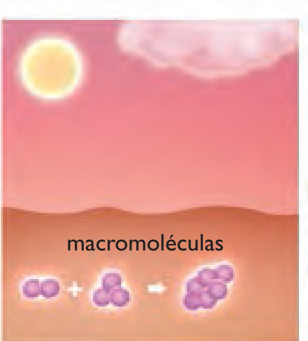
» Explicar fenómenos a partir de observaciones personales.

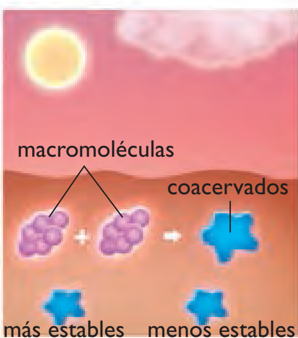











*Según Oparin y Haldane, la energía de las radiaciones y el medio acuático favorecieron la formación de moléculas complejas.*

## El experimento de Miller y Urey

En 1953, los químicos estadounidenses Stanley Miller (1930-2007) y Harold Urey (1893-1981) realizaron un experimento para poner a prueba la hipótesis de Oparin y Haldane sobre el origen de moléculas orgánicas a partir de compuestos inorgánicos que se supone estaban presentes en nuestro planeta hace algunos miles de millones de años.



*Stanley Miller. Cuando este científico desarrolló el experimento que aparece en esta página, tenía apenas 23 años; Harold Urey era su profesor y había obtenido el Premio Nobel de Química en 1934.*

### EXPERIMENTOS EN PAPEL



**¿Es posible obtener moléculas orgánicas a partir de materia inanimada?**

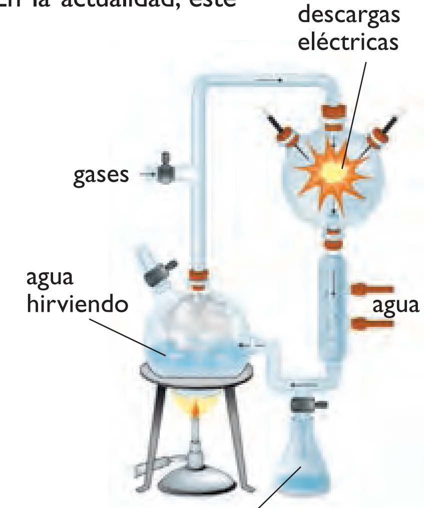
HIPÓTESIS: las condiciones de abundante energía y la presencia de ciertos compuestos inorgánicos en la Tierra primitiva pudieron dar origen a la formación de moléculas orgánicas presentes en los seres vivos actuales.

PREDICCIÓN: si se recrean las condiciones terrestres de hace 3.500 millones de años a pequeña escala en un laboratorio, se obtienen moléculas orgánicas.

PROCEDIMIENTO: Miller y Urey diseñaron un dispositivo que simulaba las condiciones que suponían que existían en la Tierra primitiva. El balón de vidrio inferior representaba los mares y los océanos, y la parte superior del dispositivo, la atmósfera, donde se producían descargas eléctricas. Ambos elementos estaban conectados por tubos. Por este circuito se movían sustancias sencillas, como vapor de agua, hidrógeno, metano y amoníaco, que pasaban permanentemente del "océano" a la "atmósfera", y viceversa. A continuación de la "atmósfera", el dispositivo presentaba un sistema de refrigeración, que provocaba que el vapor de agua se condensara en agua líquida. Esta agua arrastraba las nuevas moléculas que se podrían haber formado, y así, estas se concentraban en el tubo que conducía al "océano".

RESULTADOS: luego de 24 horas de funcionamiento, alrededor de la mitad de los compuestos incorporados inicialmente se había convertido en aminoácidos y en otras moléculas orgánicas.

CONCLUSIÓN: este experimento fue la primera evidencia de la hipótesis de Oparin, ya que confirmó la suposición de partida. En la actualidad, este tipo de ensayos se reproduce con diferentes variaciones, y se ha demostrado que prácticamente cualquier fuente de energía (radiación ultravioleta, rayos de una tormenta o ceniza volcánica a altas temperaturas) hubiese convertido los elementos que se estima estaban presentes en la Tierra primitiva en moléculas orgánicas.




» Análisis de datos experimentales.

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué tienen en común y en qué se diferencian la hipótesis de Oparin y Haldane y la teoría de la generación espontánea?
2. ¿Por qué se considera que los coacervados son los predecesores de los seres vivos? ¿Qué características comparten entre ellos?
3. ¿Cuál fue la importancia histórica de la experiencia de Miller y Urey?

## Los últimos hallazgos sobre el origen de la vida

El trabajo de Miller y Urey resultó un paso muy importante en el conocimiento sobre el origen de la vida. Sin embargo, no logró reproducir los pasos siguientes a la formación de los primeros compuestos orgánicos descriptos en la hipótesis de Oparin.

Algunos científicos, por ejemplo, objetaron que la composición propuesta para la atmósfera no era representativa de la atmósfera real que tenía la Tierra en aquel momento. Además, junto con los aminoácidos que obtuvieron Miller y Urey en su trabajo, se formaron muchos otros compuestos, que posiblemente habrían reaccionado con estas moléculas orgánicas y las hubiesen destruido.

No obstante, la mayoría de los científicos coincide en que la vida se originó inevitablemente en el planeta primitivo, ya que la formación de aminoácidos (que componen las proteínas), nucleótidos (que forman el ADN) y otras moléculas orgánicas fue altamente probable, dadas las condiciones de gran energía y presencia de compuestos inorgánicos. Aun así, no existe un modelo generalizado acerca de cómo era la composición de la Tierra "joven", ni sobre cómo fue la secuencia en que se originaron los compuestos celulares hasta formar una célula propiamente dicha.

Algunos investigadores proponen un enfoque "de abajo hacia arriba" en el origen de la vida, como había planteado Oparin en su hipótesis. Esto implica que los componentes básicos de la célula se fueron formando y agrupando entre sí "de menor a mayor", y finalmente generaron una protocélula (es decir, una célula primitiva) capaz de intercambiar materia y energía con el ambiente y de dividirse y pasar su información genética a su descendencia.

Otros científicos, en cambio, plantean un enfoque "de arriba hacia abajo": en sus trabajos, parten de una célula procariota actual y le van quitando componentes, de manera de determinar la composición mínima que es capaz de soportar la vida. Entre estos científicos se halla el estadounidense Craig Venter, conocido por su participación en el Proyecto Genoma Humano, que permitió determinar la secuencia del ADN de nuestra especie.



*Entre 1950 y 1970, el bioquímico estadounidense Sidney Fox (1912-1998) logró obtener "microesferas", compuestas por aminoácidos rodeados por una membrana, de manera espontánea. Estas podrían haber sido un paso intermedio entre los compuestos orgánicos y el origen de la vida.*



*En la década de 1980, el estadounidense Graham Cairns-Smith propuso que las primeras moléculas complejas podrían haberse originado sobre arcillas, que luego generaron cristales. Estas estructuras serían capaces de autoreplicarse a partir de su fractura en microcristales que conservan sus mismas características.*



*A partir del descubrimiento de nanobios (las estructuras con capacidad de replicarse más pequeñas que se conocen) en sedimentos de rocas, el austríaco Thomas Gold (1920-2004) planteó que la vida podría haber surgido a varios kilómetros de profundidad de la superficie terrestre.*

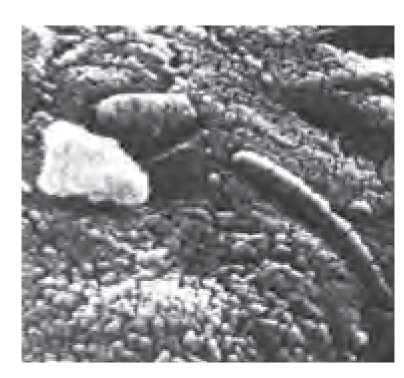
## Exogénesis: un origen extraterrestre

Muchas incógnitas acerca del origen de la vida en la Tierra continúan vigentes. ¿Cómo era la atmósfera? ¿La vida comenzó en el mar, en una laguna, en las rocas, en la arcilla, en fuentes hidrotermales, en el hielo? ¿Qué fuente de energía intervino realmente: las ondas ultravioletas, los rayos, el calor de la lava? ¿Cómo fue la secuencia que dio lugar a la formación de las primeras células?

Las posibilidades son variadas, pero son pocas las combinaciones de factores que pudieron haber actuado en este proceso. A partir de este panorama de incertidumbre, en pleno siglo XX, varios científicos retomaron la idea de Anaxágoras acerca de la llegada de los primeros seres vivos (o de sus antecesores) desde el espacio exterior, aunque con ciertas modificaciones. Por ejemplo, postulan que los meteoritos caídos en nuestro planeta durante un período llamado bombardeo pesado, hace entre 3.800 y 4.500 millones de años, podrían haber traído los materiales necesarios para el comienzo de la vida. A esta hipótesis se la conoce como litopanspermia (*lito* significa "roca", en griego); así, las piedras reemplazarían a las "semillas" o "gérmenes" de los cuales hablaba el filósofo griego hace 2.500 años.

Esta hipótesis cobró importancia a partir del surgimiento de nuevas evidencias científicas. Por ejemplo, durante la misión espacial que la nave Apolo 12 realizó a la Luna en 1970, se recolectaron muestras que contenían bacterias que habían estado tres años en el espacio y seguían vivas. Por otra parte, se descubrieron sustancias orgánicas complejas en dos meteoritos, y se encontraron seres microscópicos en las capas más externas de la atmósfera. Estas son las pruebas más sólidas de que la vida pudo haber venido del espacio exterior.

Si la hipótesis de la panspermia fuera verdadera, y la vida o los componentes necesarios para que esta se origine viajan por el espacio, entonces es posible que exista vida en otros lugares del Universo e, incluso, que esta vida sea similar a la terrestre. Sin embargo, esta no es una hipótesis sostenida por la mayoría de la comunidad científica.



*En un meteorito proveniente de Marte, encontrado en 1984 en la Antártida, se hallaron estructuras similares a bacterias. Aún no se concluye si se trata de formas de vida primitivas extraterrestres o de una contaminación del ambiente terrestre, donde impactó hace 13.000 años.*



*La misión tripulada Apolo 12 alunizó en 1970. En la imagen se ve al astronauta Conrad junto a la sonda Surveyor 3, que permanecía en la Luna desde hacía tres años. Los astronautas trajeron partes de la sonda de vuelta a la Tierra, para su estudio.*

### CIENCIAS **EN LA NET**



**Un "turista" accidental**

Ingresen al siguiente sitio de Internet: http://bit.ly/H9k9ON. Lean el artículo de la página 4, donde se le presenta una nota al científico español Francisco Ayala. Luego, conversen sobre los argumentos que plantea este investigador. ¿Con qué teoría está en desacuerdo?

» Uso de TIC en la búsqueda y análisis de información.

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué es una protocélula? ¿Y un nanobio?
2. ¿Qué características comparten las células y las microesferas de Fox?
3. ¿Qué evidencias existen a favor de la panspermia? ¿Y en contra de esta hipótesis?
4. ¿De dónde surgieron las bacterias que se hallaron durante la expedición del Apolo 12? ¿Cuál es la importancia de este hallazgo?

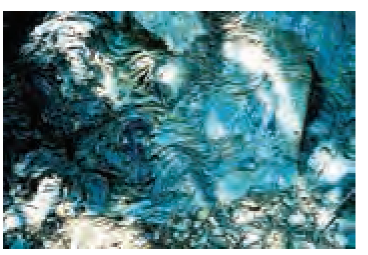
## Los primeros seres vivos: las bacterias

A pesar de que no se sabe con exactitud cuándo ni cómo se originaron los primeros seres vivos, se han encontrado fósiles que permiten establecer ciertos rangos temporales. Además, como estudiaron en los capítulos 2 y 3, según la teoría de la evolución por selección natural propuesta por Charles Darwin, los seres vivos fueron diversificándose y dando origen a nuevas especies a lo largo de la historia de la vida. Por lo tanto, este interminable proceso de la evolución tiene que haber sido iniciado por organismos muy pequeños y simples que, lentamente y de manera gradual, desarrollaron nuevas estructuras y capacidades.

Los fósiles más antiguos hallados hasta el momento corresponden a organismos semejantes a las bacterias actuales, y tienen entre 3.400 y 3.500 millones de años. Las bacterias son organismos procariotas unicelulares, es decir, están formados por una única célula y no tienen su información genética organizada dentro de un núcleo ni otros sistemas de membranas. Son los seres vivos más simples que se conocen y pueden habitar en lugares inhóspitos (como volcanes, aguas termales y glaciares), en condiciones de extrema acidez o alcalinidad, y en ausencia de oxígeno. A pesar de su sencillez, las bacterias presentan una enorme diversidad, y todas son capaces de llevar a cabo las funciones vitales (como regular su metabolismo y reproducirse).

Se ha descubierto evidencia de seres vivos aún más antiguos; si bien no se han hallado restos de estos organismos, sí se han encontrado indicios de su existencia. Esto se deduce, por ejemplo, del análisis químico de depósitos de sedimentos: las rocas de una isla de Groenlandia poseen cantidades inusuales de ciertos elementos, como fosfatos y una forma particular de carbono, que son utilizados en la fabricación de compuestos orgánicos y en determinados procesos biológicos; por lo tanto, constituyen indicadores de la presencia de seres vivos en el pasado.

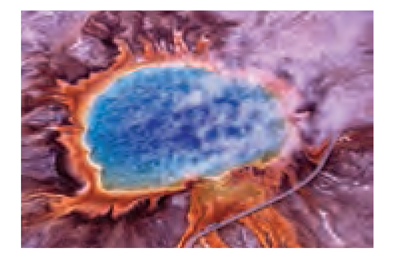




*Los estromatolitos son formaciones de calcio que se formaron a partir de los desechos producidos por un tipo de bacterias similares a los primeros organismos que habitaron el planeta.*



*Los fósiles con forma de bacteria más antiguos fueron encontrados en Australia, y datan de 3.500 millones de años, aproximadamente.*



*Algunas bacterias, como las que le confieren sus vistosos colores a esta laguna termal del parque Yellowstone, en los Estados Unidos, son capaces de desarrollarse en ambientes de temperaturas extremas.*

### ESTUDIO DE CASO



¿Por qué piensan que los científicos sostienen que las bacterias primitivas eran anaeróbicas, es decir, que vivían en ausencia de oxígeno?

» Explicar fenómenos a partir de observaciones personales.

### ACTIVIDADES

1. ¿Por qué se supone que los primeros seres vivos fueron bacterias u organismos parecidos a estas?
2. ¿Por qué creen que no se han encontrado fósiles más antiguos que correspondan a seres vivos aún más primitivos?
3. ¿Cómo puede determinarse la presencia de seres vivos, si no se encuentran sus restos de manera directa?





# La exobiología

Desde tiempos inmemoriales, las personas se han preguntado si existen seres vivos en otros lugares del espacio. Hay áreas de estudio, como la astronomía y la exobiología, que se encargan de analizar esta posibilidad, en especial en planetas cercanos a la Tierra, donde las condiciones son relativamente similares a las de nuestro planeta.

Muchos escritores, artistas y cineastas fantasearon con alienígenas y hasta inventaron adjetivos gentilicios para referirse a ellos: *marcianos*, para los seres provenientes de Marte; y *selenitas*, para los de la Luna (Selene era la diosa griega de la Luna).

Los científicos espaciales trabajan desde hace más de medio siglo buscando evidencias de la presencia de seres con vida en otros cuerpos celestes. Los países que más han explorado el espacio exterior son Estados Unidos (cuya agencia espacial nacional se llama NASA, por sus siglas en inglés) y Rusia.

La última misión a Marte recibió el nombre *Mars Science Laboratory* (MSL), también llamada *Curiosity*, y es dirigida por la NASA. Esta misión fue lanzada mediante un cohete el 26 de noviembre de 2011, y amartizó (es decir, aterrizó en Marte) el 6 de agosto de 2012. Incluye un astromóvil, que es un vehículo que permite explorar la superficie del planeta: recolecta y analiza muestras de rocas y de suelo, y toma fotografías y videos, entre otras cosas; permanecerá en el llamado planeta *rojo* hasta que este complete su órbita alrededor del Sol (un año marciano equivale a casi dos años terrestres).

El robot Curiosity ha dado a conocer numerosos descubrimientos. Por ejemplo, en el suelo y en las rocas de Marte detectó agua, nitrógeno, hidrógeno, oxígeno, fósforo, carbono y minerales arcillosos, algunos de los componentes esenciales para la vida. Además, recorrió zonas por las que pudo haber pasado un pequeño río o lago con materiales que pudieron haber proporcionado energía química, como compuestos con azufre (llamados *sulfatos* y *sulfitos*). Estas claves indican que ese planeta pudo haber presentado, en alguna época, un ambiente habitable… ¿o lo presentará aún en la actualidad?

Mientras tanto, avanza el Proyecto para la Búsqueda de Genoma Extraterrestre por parte de instituciones estadounidenses, con el objetivo de encontrar ácidos nucleicos en Marte.

¿Qué ocurriría si se hallara vida en otros planetas, en especial en el vecino Marte? Seguramente sobrevendría una nueva revolución científica, tal como sucedió cuando se comprobaron el heliocentrismo ("la Tierra dejó de ser el centro del Universo") y la teoría de la evolución (que implicó el "parentesco con los monos" del ser humano y una posible explicación de la vida en la Tierra que no precisaba de hipótesis sobrenaturales).



*El astromóvil de Curiosity identifica los componentes químicos de la superficie de Marte a partir de instrumentos de química y mineralogía que emiten rayos infrarrojos.*

**✱ ¿Creen que los marcianos imaginados por la ciencia ficción pueden existir realmente? ¿Por qué?**

**✱ ¿Cómo creen que podrían ser los organismos que viviesen en Marte?**

**✱ ¿Qué otras evidencias les parece que necesitan los científicos para confirmar que hubo o que hay vida en Marte?**

» Relación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente.

## La nutrición de las primeras células

Todos los seres vivos que habitan el planeta funcionan como sistemas abiertos, es decir, precisan incorporar energía y materiales del medio que los rodea para mantenerse con vida. La energía les permite llevar a cabo todos los procesos que ocurren en las células y las actividades del organismo, como desplazarse o incorporar alimento. Con los materiales se fabrican componentes propios (para crecer y reparar partes dañadas), o estos se rompen o degradan (de manera de aprovechar la energía química que contienen). Los primeros seres vivos también requirieron del aporte continuo de energía para mantenerse, crecer y reproducirse.

En la actualidad, existen dos formas en que los organismos (y las células que los componen) consiguen energía. Los **heterótrofos** dependen de fuentes externas para satisfacer sus requerimientos de materiales y energía. Es decir, precisan incorporar estos elementos del medio.

En cambio, los **autótrofos** son capaces de fabricar sus propios materiales ricos en energía a partir de compuestos simples. Según la fuente de la que obtengan la energía para realizar sus funciones vitales, los autótrofos se dividen en fotoautótrofos (capturan la energía del Sol) o quimioautótrofos (emplean la energía liberada en reacciones químicas simples).

Al parecer, en los fósiles más antiguos que se han encontrado están representados tanto los autótrofos como los heterótrofos; por eso, el modo en que las células primitivas obtuvieron la energía continúa en discusión.

Una hipótesis plantea que los primeros seres vivos fueron heterótrofos que aprovecharon determinados compuestos complejos presentes en el ambiente primitivo, que se habían acumulado lentamente durante millones de años. Para liberar la energía presente en los materiales incorporados del medio, es necesario que ocurran reacciones químicas en el interior de la célula. En la mayoría de los seres vivos actuales, esto ocurre mediante el proceso de respiración celular, y requiere la presencia de oxígeno; por eso, se dice que es aeróbico. Como no había oxígeno disuelto en el agua del planeta primitivo, los seres vivos utilizaban otros compuestos, como el azufre y el hierro, para degradar el alimento y, de este modo, obtener su energía. A este proceso en ausencia de oxígeno se lo llama *anaeróbico*.





*Durante casi 2.000 millones de años, las bacterias poblaron de forma exclusiva el planeta Tierra.*



*A los organismos que son capaces de vivir en ausencia de oxígeno se los llama* anaerobios. *En la actualidad, las bacterias anaerobias habitan en ambientes con poco oxígeno, como aguas cloacales y determinados tipos de suelo.*

## El comienzo de la fotosíntesis

A medida que aumentó la cantidad de los organismos heterótrofos, el alimento disminuyó, y la competencia entre ellos fue cada vez mayor. En estas condiciones, las células capaces de aprovechar de manera más eficiente los escasos recursos tuvieron mayores probabilidades de sobrevivir y de reproducirse. Los seres vivos continuaron evolucionando con esta presión de selección, hasta que, en un momento dado, aparecieron organismos tan eficientes en este aspecto que podían sintetizar compuestos complejos a partir de sustancias simples: los autótrofos.

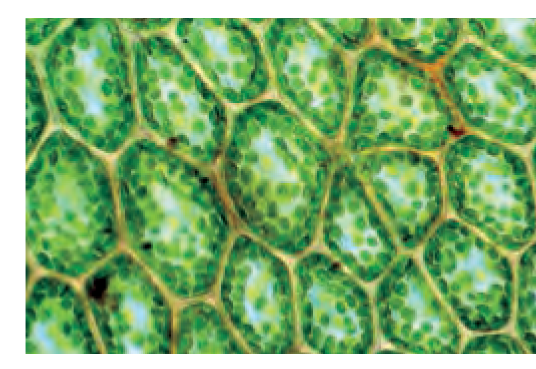
Para producir su propio alimento, estos seres vivos rompían moléculas de agua y las combinaban con el gas dióxido de carbono presente en el ambiente. Este proceso, que utiliza la energía de la luz solar, se llama *fotosíntesis*, y es la manera en la que los fotoautótrofos, como las plantas, las algas y algunas bacterias, fabrican su alimento en la actualidad.

Como desecho de la fotosíntesis, se produce oxígeno, un gas indispensable para la vida de la mayoría de los seres vivos que conocemos. Sin embargo, este compuesto, altamente reactivo, casi termina con la vida en aquel momento, ya que resultaba tóxico para la mayoría de los organismos. De a poco, el oxígeno fue haciéndose más abundante, y provocó la desaparición de una gran cantidad de bacterias. Sin embargo, como resultado de la diversidad de estos seres vivos primitivos, algunos fueron capaces de aprovechar el oxígeno para degradar el alimento mediante la respiración celular aeróbica. Además, este proceso era mucho más eficiente, debido a que proporciona mayor cantidad de energía que en condiciones anaeróbicas.

La cantidad de organismos aerobios fue aumentando lentamente, tanto los heterótrofos como los fotoautótrofos, y el oxígeno producido por la fotosíntesis era utilizado en la respiración. Como resultado, la composición de la atmósfera cambió drásticamente, y hoy en día, el oxígeno es uno de los gases más abundantes en nuestro planeta.



*Una hipótesis sostiene que los primeros organismos habrían sido bacterias quimioautótrofas, debido a que se han descubierto este tipo de seres vivos en ambientes que podrían ser similares a los de la Tierra primitiva, como fosas oceánicas y pantanos.*



*La clorofila es un pigmento verde que participa en el proceso de fotosíntesis, y caracteriza a los fotoautótrofos. En experimentos semejantes a los de Miller y Urey, se obtuvieron compuestos parecidos a la clorofila.*



**ESTUDIO** DE CASO



Cada vez es más frecuente que múltiples productos, como detergentes y desinfectantes para diversos fines, anuncien que poseen "oxígeno activo". ¿Cuál será su acción? ¿Cómo se relaciona su efecto con el surgimiento de la fotosíntesis?

›› Explicar fenómenos a partir de observaciones personales.

ACTIVIDADES

1. Expliquen la sucesión de cambios en la biodiversidad y en el ambiente de la Tierra primitiva teniendo en cuenta el proceso de evolución y el mecanismo de selección natural.

2. ¿Cómo obtenían energía las primeras bacterias?, ¿de qué manera lo hacen en la actualidad?

3. ¿Los organismos fotoautrótofos consumen oxígeno? ¿Por qué?

# ¿Hay bacterias aerobias y anaerobias en la actualidad?

Las bacterias aerobias necesitan oxígeno para respirar y vivir; mientras que las anaerobias pueden desarrollarse en ausencia de este gas. ¿Cómo puede comprobarse el requerimiento de oxígeno por parte de las bacterias? Una manera de hacerlo es comparando el crecimiento de estos organismos en un ambiente que posee oxígeno y en otro que no presenta este gas. Una forma de eliminar el oxígeno de un recipiente es generando vacío; otra opción más simple es a partir de la combustión. En este proceso se consume oxígeno y como resultado, se producen calor, dióxido de carbono y vapor de agua. En la siguiente experiencia, emplearán estos datos y lo que aprendieron en este capítulo para analizar la respiración de las bacterias.



*Las bacterias se reproducen y forman agrupaciones de millones de individuos, llamadas* **colonias.**

[**HIPÓTESIS** DEL TALLER] Las bacterias anaerobias solo crecen en sitios específicos, como las fosas oceánicas y el tracto gastrointestinal de numerosos animales, como el ser humano.

[**PREDICCIÓN**] Si se cultivan bacterias de la boca en un recipiente hermético, al que se le eliminó el oxígeno, estas no crecerán, porque la mayoría de las bacterias actuales son aerobias.

[**MATERIALES**] 2 cajas de Petri o 2 tapitas de frascos de mermelada * Gelatina (en lo posible, transparente, como la gelatina sin sabor) * Agua * Heladera * 2 frascos grandes de vidrio con tapa que cierre herméticamente * Vela * Fósforos * 2 hisopos.

[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Trabajar con microorganismos requiere de ciertos cuidados, porque es muy fácil contaminar el ensayo con los microbios del aire, de nuestras manos o de las microgotas que salen de nuestra boca cuando hablamos. Por eso, los pasos deben realizarse de manera precisa y rápida, evitando hablar mientras manipulamos los elementos. Es recomendable lavarse las manos antes de empezar, y desinfectar las manos, la mesada y los elementos que utilizaremos con alcohol.

**2.** Esterilicen los frascos y las tapitas o las cajas de Petri con agua hirviendo. Para esto, deben sumergirlos en una olla con agua y dejarlos hervir durante unos 5 minutos.

**3.** Preparen la gelatina, según las indicaciones del envase, y viertan una parte en cada tapa o placa de Petri, hasta completar un poco más de la mitad de su volumen.

**4.** Coloquen las tapas con la gelatina en la heladera, hasta que solidifique.

**5.** Coloquen la vela en uno de los frascos. Pueden fijarla derritiendo su base con calor y apoyándola sobre la superficie antes de que la parafina vuelva a endurecerse.

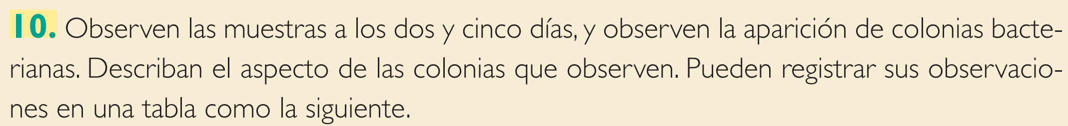


**6.** Con un hisopo, tomen una muestra de la mucosa de su boca, es decir, raspen la parte de adentro de la mejilla. Luego, "rayen" la gelatina con el hisopo, frotándolo sobre las dos tapas.

**7.** Ubiquen una muestra en el interior de cada frasco.

**8.** Enciendan la vela, y tapen rápidamente ambos frascos.

**9.** Conserven los frascos en la heladera, para evitar que la gelatina se derrita.



**10.** Observen las muestras a los dos y cinco días, y observen la aparición de colonias bacterianas. Describan el aspecto de las colonias que observen. Pueden registrar sus observaciones en una tabla como la siguiente.

| Ambiente | Cantidad de colonias | | Observaciones | |
|---|---|---|---|---|
| | 2 días | 5 días | 2 días | 5 días |
| Aeróbico (sin vela) | | | | |
| Anaeróbico (con vela) | | | | |

## [RESULTADOS]

¿En qué caso observaron mayor cantidad de colonias? ¿Cómo lo explicarían?

¿Todas las colonias tuvieron el mismo aspecto? ¿A qué se debe esto?

¿Se confirmó la hipótesis de la experiencia?

## ACTIVIDADES

**1. Redacten un texto con las conclusiones a las que llegaron a partir de sus resultados. En un informe de ciencias naturales, en esta parte se incluyen argumentos para intentar explicar los resultados. Usen estas preguntas como guía.**

- **a.** ¿Se cumplió la predicción inicial? En caso afirmativo, ¿cómo se explica, según los conocimientos previos?
- **b.** ¿Puede haber habido fallas en el procedimiento? ¿Cuáles? ¿Cómo podrían modificar los resultados obtenidos?
- **c.** A partir de estos argumentos, ¿se sigue sosteniendo que la hipótesis pudo o no pudo comprobarse?

**2. ¿Cómo harían para comprobar que en el recipiente con la vela se consiguió eliminar el oxígeno? Diseñen una experiencia que incluya este control (una pista: tengan en cuenta la respuesta que tendrían otros organismos aerobios en un ambiente con esas condiciones).**

- **a.** En el control, ¿utilizarían un ser vivo microscópico, como las bacterias, o uno que pudiera analizarse a simple vista?
- **b.** ¿Elegirían un organismo autótrofo o uno heterótrofo? ¿Por qué?

## ESTUDIO DE CASO



De la misma manera que la falta de oxígeno es letal para los organismos aerobios, un exceso de este gas también resulta tóxico, y puede producir diversas complicaciones en el organismo. En el ser humano, por ejemplo, la intoxicación con oxígeno puede provocar convulsiones, problemas en la vista y dificultad respiratoria. Estas situaciones no ocurren naturalmente, ya que la cantidad de oxígeno en la atmósfera es aproximadamente constante; sin embargo, pueden presentarse cuando se emplean dispositivos que suministran este gas de manera artificial, como máscaras de oxígeno, tanques de buceo o incubadoras neonatales, por períodos prolongados.

1. ¿Qué propiedades tiene el oxígeno gaseoso? ¿Cómo lo aprovechan los seres vivos?

2. ¿Hubiera sido posible la evolución química, si este gas hubiese sido abundante en la atmósfera primitiva? ¿Por qué?

3. ¿Les parece que la presencia de oxígeno en otro planeta puede ser un indicio de la existencia de vida en ese lugar? Justifiquen su respuesta.

**4.** Armen en sus carpetas un cuadro comparativo acerca de las diversas hipótesis sobre el origen de la vida, en qué experiencias se basaron, y si eran correctas.

**5.** **Lean los siguientes pares de palabras. Redacten una definición que abarque ambos conceptos y luego, una explicación sobre las características que los diferencian.**

a. Heterótrofo - autótrofo.
b. Respiración aeróbica - respiración anaeróbica.
c. Fotoautótrofo - quimioautótrofo.
d. Procariota - eucariota.

**6.** **Marquen con una X la opción correcta (o las opciones correctas) para completar cada una de las siguientes frases. Luego, expliquen cuál fue el objetivo de realizar cada una de las acciones que eligieron.**

a. El control de la experiencia de Redi fue…
- ☐ un frasco destapado.
- ☐ un frasco cubierto con gasa.
- ☐ un frasco tapado herméticamente.

b. La clave del experimento de Pasteur fue…
- ☐ tapar uno de los frascos con una gasa.
- ☐ calentar el caldo.
- ☐ utilizar frascos con el cuello curvado.

c. Miller y Urey lograron conseguir evidencias a favor de la hipótesis de Oparin y Haldane porque…
- ☐ emplearon la cantidad adecuada de cada gas.
- ☐ colocaron un mechero debajo del balón "océano".
- ☐ agregaron un tubo refrigerante a continuación de la "atmósfera".

**7.** **Lean el siguiente fragmento de la novela de ciencia ficción *Alrededor de la Luna*, del escritor francés Julio Verne (1828-1905), escrita en 1869, es decir, cien años antes de la llegada del ser humano a este satélite. Luego, respondan a las preguntas.**

*—¡Sí! —dijo el capitán—. ¡Ya que no sé adónde voy, quiero saber a qué voy!*

*—¿A qué? —repitió Miguel dando un salto de un metro—. ¿A qué? ¡A tomar posesión de la Luna en nombre de los Estados Unidos! ¡A añadir un Estado más a los treinta y nueve de la Unión! ¡A colonizar las regiones lunares, a cultivarlas, a poblarlas, a transportar a ellas todas las maravillas del arte, de las ciencias y de la industria! ¡A civilizar a los selenitas, si es que no están más civilizados que nosotros, y a constituirlos en República si no tienen ya esta forma de gobierno!*

*—¿Y si no hay selenitas? —replicó Nicholl, que bajo la influencia de aquella embriaguez inexplicable se volvía terco y pendenciero.*

*—¿Quién dice que no hay selenitas? —exclamó Miguel, en tono de amenaza.*

*—¡Yo! —gritó Nicholl.*

*—Capitán —dijo Miguel—, no repitas esa insolencia, o te la hago tragar con los dientes.*

*Los dos adversarios iban a lanzarse uno contra otro, y aquella discusión se iba a convertir en pelea, cuando Barbicane se plantó entre ambos de un salto.*

*—¡Deténganse, desdichados! —dijo volviendo a sus compañeros de espaldas uno al otro—. Si no hay selenitas, nos pasaremos sin ellos.*

*—Sí —respondió Miguel, que no era menos testarudo—. ¡No nos hacen falta los selenitas! ¡Abajo los selenitas!*

*—Para nosotros, el imperio de la Luna —dijo Nicholl—. Nosotros tres constituiremos la República.*



Ilustración de la nave espacial de la novela *Alrededor de la Luna*, de Julio Verne.

**a.** ¿Cómo se imaginan Miguel, Nicholl y Barbicane a los seres vivos de la Luna? ¿A qué especie terrestre les parece que se parecen los selenitas, según el texto? ¿Qué les hace suponer esto?

**b.** Si se tratara de hallar vida en la Luna, ¿qué características se tendrían que buscar?

**8.** **Respondan a las siguientes preguntas.**

**a.** ¿Por qué fue crucial, en las células primitivas, la formación de una membrana que separase el interior celular del medio en el que se encontraban?

**b.** ¿Por qué se cree que las células eucariotas se originaron a partir de las células eucariotas? ¿Qué teoría permite explicar este evento?

**c.** ¿El origen de las células eucariotas corresponde al período de evolución química o biológica? ¿Por qué?

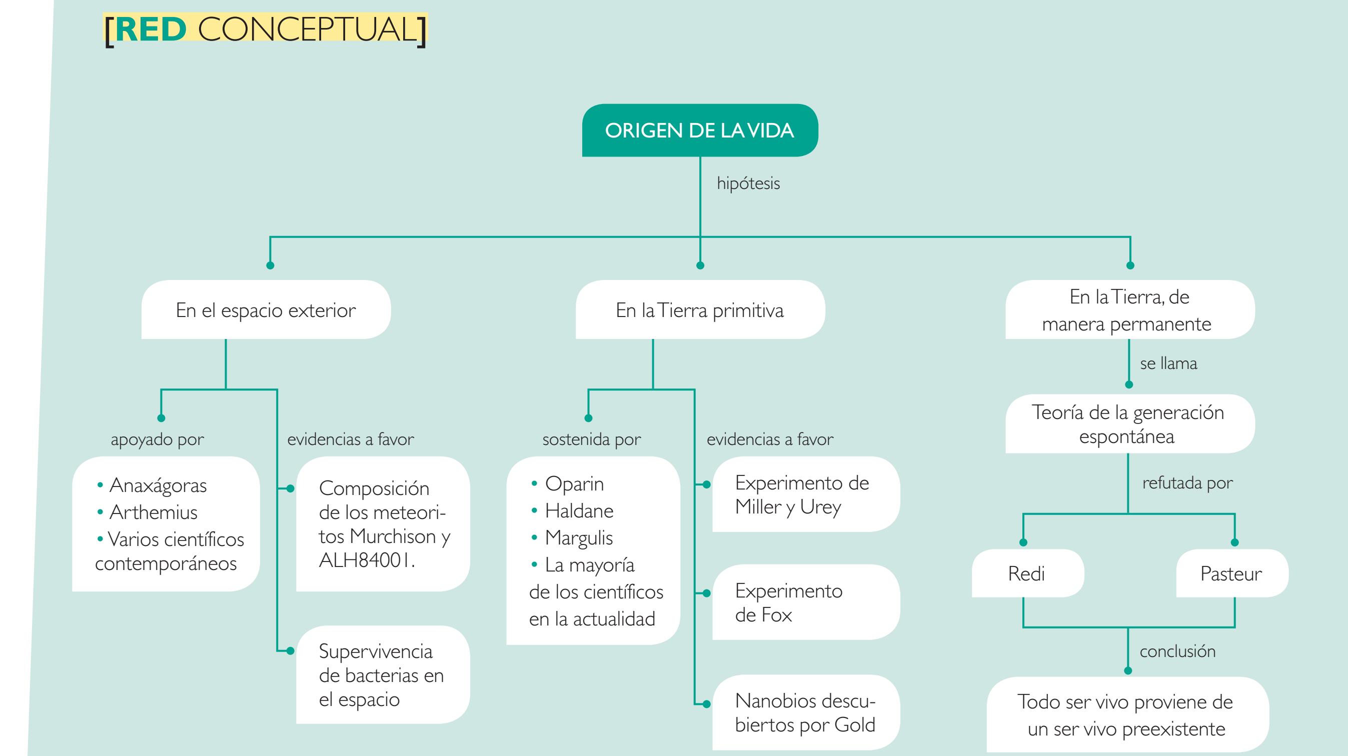
**9.** **¿Qué temas del capítulo fueron los que más les gustaron?**

**10.** **¿Qué conceptos aprendieron al estudiar estas páginas? ¿Cuáles ya conocían, pero con menos detalles?**

**11.** **¿Qué teorías sobre los orígenes de la vida les parecieron más verosímiles o creíbles, y cuáles, menos?**



## [RED CONCEPTUAL]



Contenidos: Teoría celular • Estructura básica de la célula • Tipos de células: procariota y eucariota • Célula animal y célula vegetal • Otros tipos de células eucariotas • Estructura y función de las organelas celulares • La membrana plasmática • Transporte • Teoría endosimbiótica • Los niveles de organización • Las funciones de las células: nutrición, relación y reproducción

# 5 La célula



# [ESTUDIO DE CASO]



## Órganos en frascos burbujeantes

En las historias de ciencia ficción, tras un accidente, los órganos son reemplazados con partes humanas crecidas en enormes frascos burbujeantes. En la realidad, desde 2008, el médico e investigador Paolo Macchiarini ha logrado introducir con éxito en numerosos pacientes tráqueas nuevas, fabricadas con moldes sintéticos y con los tejidos del propio paciente.

¿Cómo podemos hacer para que crezca un órgano en un frasco? La clave está, por supuesto, en entender cómo crece un órgano en nuestro cuerpo, para luego crear las condiciones fuera de este. Un órgano es un conjunto de células y deriva, en última instancia, de una o de pocas células que se han dividido. Sin embargo, las células de diferentes órganos pueden ser muy distintas. Las del páncreas y otras glándulas tienen un gigantesco aparato de Golgi y grandes vacuolas; las de los músculos tienen muy desarrollado un sistema de fibras contráctiles y poseen muchísimas mitocondrias; las neuronas tienen formas extrañas que les permiten establecer múltiples contactos; los glóbulos rojos han perdido casi todo, incluso su núcleo, y se dedican pura y exclusivamente al transporte de algunas sustancias, como el oxígeno.

Para hacer crecer un órgano, por lo tanto, hay que obtener células que se dividan y que sean del tipo buscado. Lamentablemente, las dos cosas no son posibles a la vez. Las células especializadas, como las de los epitelios, los músculos, la sangre o las neuronas, ya no se dividen. El secreto del órgano en el frasco consiste, entonces, en encontrar primero células capaces de dividirse mucho y luego, instruir a esas células a que cambien, se diferencien y adquieran la especialidad que buscamos. Lo sorprendente es que esto es posible. Las **células madre** son justamente esas que pueden dividirse mucho; no están diferenciadas, pero pueden dar lugar a células especializadas con el tratamiento adecuado. Este "tratamiento adecuado" involucra conocer con detalle la estructura interna de las células, cómo se dividen y, por sobre todo, cómo responden a estímulos externos e internos que les dicen qué hacer. Como en muchos otros casos, la respuesta a grandes preguntas médicas está en un viaje al interior de la célula.

* ¿Qué es un tejido? ¿Conocen algunos tejidos que formen el cuerpo humano? ¿Les parece que un simio tendrá tejidos diferentes a los de los humanos? ¿Y una esponja de mar? ¿Por qué?
* El espermatozoide, una célula fuertemente activa, tiene una gran mitocondria. Las células musculares también tienen muchas de estas organelas. ¿Qué función les parece que pueden cumplir dentro de la célula?
* ¿Puede vivir una célula sin núcleo? ¿Puede dividirse?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

## Todos los seres vivos están constituidos por células

A mediados del siglo XVII, el científico inglés Robert Hooke (1635-1703) observó a través del microscopio una lámina delgada de corcho (que es la corteza del árbol alcornoque). Hooke detectó que este material estaba formado por un conjunto de estructuras geométricas, similares a las celdas de un panal de abejas. Las llamó células, por el término latino *cellula*, que significa "celda pequeña". Lo que Hooke observó no eran exactamente células vivas, sino los restos de las paredes de las células vegetales del alcornoque.

Poco tiempo después, el naturalista holandés Anton Van Leeuwenhoek (1632-1723) perfeccionó el microscopio y observó por primera vez varios tipos de células vivas: microorganismos presentes en el agua, espermatozoides, glóbulos rojos y algunas bacterias.

A finales del 1830, el zoólogo Theodor Schwann (1810-1882) y el botánico Mathias Schleiden (1804-1881) realizaron muchas observaciones al microscopio, el primero con muestras animales y el segundo con muestras vegetales y, en todas ellas, detectaron la presencia de células. Juntos formularon uno de los postulados más importantes de la historia de la biología: la célula es la unidad estructural básica de todos los seres vivos.



*Robert Hooke le asignó el nombre de* cell *a las estructuras que observó en el corcho. Actualmente, en inglés,* cell *quiere decir tanto celda como célula.*



### EXPERIMENTOS EN PAPEL

**¿Cuál es la importancia de las células en los seres vivos?**

Esta fue la pregunta que se hicieron Schwann y Schleiden. Para responderla, observaron minuciosamente partes de distintos seres vivos.

HIPÓTESIS: todos los seres vivos están formados por células.

PREDICCIÓN: si se observan al microscopio muestras provenientes de distintos seres vivos, tanto de animales como de vegetales, en todas ellas se detectará la presencia de células.

PROCEDIMIENTO: se prepararon cuatro muestras para observar: una con una lámina delgada cortada de una papa, otra con un estambre de una flor, otra con un fragmento de un ala de un mosquito, y otra con una gota de agua estancada. Se colocaron sobre un vidrio llamado portaobjetos, se cubrieron con otro vidrio más delgado, llamado cubreobjetos, y luego se observaron al microscopio.

RESULTADOS: en todas las muestras, se detectó la presencia de células. En la lámina de la papa, en el estambre y en el fragmento del ala, se observaron muchas células juntas y organizadas, mientras que en la muestra de agua estancada, se vieron células separadas.

CONCLUSIONES: todos los seres vivos están formados por células. La papa, el estambre y el ala del mosquito forman parte de organismos que tienen muchas células; el agua estancada tiene organismos formados por una sola célula.

›› Interpretar datos experimentales.

Schwann y Schleiden, en 1839, propusieron que las células eran la unidad estructural y funcional de los seres vivos, y que siempre se generaban a partir de otras células. Estas últimas dos características fueron demostradas posteriormente por otros científicos. Así se construyó una de las teorías fundamentales de la biología.

## La teoría celular

En 1858, Rodolf Virchow (1821-1902) estudió las características de las células cancerosas, sobre todo su capacidad de dividirse y generar nuevas células. Aceptó la hipótesis de Schwann y de Schleiden respecto del origen de las células, y afirmó en latín *omnis cellula e cellula*: toda célula proviene de otra célula preexistente.

A partir de sus trabajos sobre procesos fisiológicos en los seres vivos, Claude Bernard (1813-1878) planteó que las células y los tejidos constituían un "todo funcional", y que el comportamiento de este "todo" estaba determinado por lo que ocurría dentro de las células, por la interacción entre ellas y por el líquido circundante.

A fines de 1880, se observó con detalle la división celular, y se demostró que existía una semejanza en la composición química y en las reacciones en todas las células.

Todos estos aportes ampliaron y reforzaron la teoría de Schwann y de Schleiden. Actualmente, la **teoría celular** tiene los siguientes postulados:

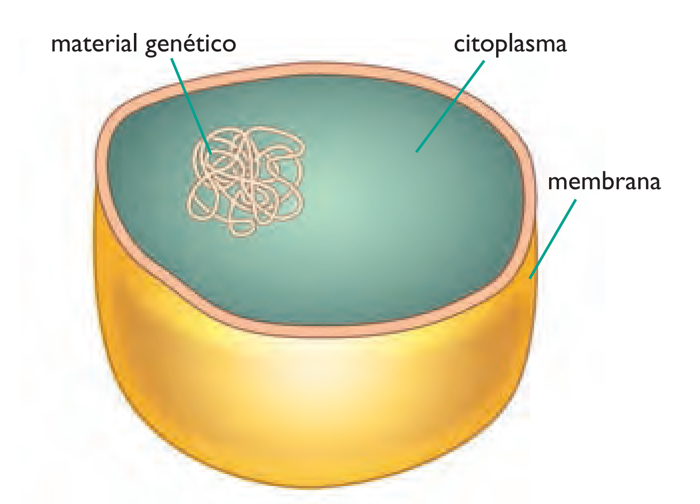
* Todos los seres vivos están compuestos por células.
* Toda célula proviene de otra preexistente, que le dio origen.
* Todas las células poseen el mismo tipo de componentes químicos.
* En las células ocurren todas las reacciones metabólicas de los seres vivos.
* Toda célula contiene material hereditario, transmitido por la célula de la cual se originó.

La teoría celular es una de las generalizaciones más relevantes de la biología, ya que permitió comprender la estructura y la organización de los seres vivos. Que la célula sea la unidad funcional de la vida implica que es la unidad mínima que puede considerarse viva; todo lo que se encuentre en un nivel de organización inferior al de una célula (una organela, una molécula, etc.) no es considerado algo vivo.

## La estructura básica de las células

Las células de todos los seres vivos no son idénticas, pero comparten una estructura básica.

* Todas las células tienen una membrana que las separa del medio, pero que a la vez permite el intercambio con él, esta es la **membrana plasmática**.
* Las células tienen un medio interno constituido principalmente por agua, llamado **citoplasma**. Allí se llevan a cabo la mayor parte de las reacciones químicas de la célula.
* Las células poseen **material genético** con información que regula su funcionamiento, y que se transmite cuando la célula se reproduce y genera células hijas. La información genética está contenida en moléculas de ADN, organizadas en estructuras llamadas **cromosomas**.




*En este esquema se representan las estructuras que todas las células tienen en común: una membrana que las limita, citoplasma y material genético.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Cuál fue la importancia de las observaciones de Robert Hooke? ¿De dónde viene la palabra célula y por qué se las llamó así?

2. ¿Qué observaciones llevaron a Schwann y a Schleiden a proponer una teoría celular?

3. ¿Qué aspecto de la teoría celular aporta una evidencia a la idea de un ancestro común? ¿Por qué?

## Existen distintos tipos de células

Si bien las células constituyen la mínima unidad estructural y funcional de todos los seres vivos, no son todas iguales. A principios del siglo pasado, se inventó un nuevo tipo de microscopio, llamado *microscopio electrónico*, que permitió obtener imágenes con mucho más aumento que el microscopio común u óptico. Las observaciones con este nuevo instrumento facilitaron el estudio de todas las estructuras internas de las células, y permitieron reconocer dos grandes grupos o tipos de células: las que tenían un núcleo bien definido y las que no tenían núcleos y que parecían más simples. A las células con núcleo y estructuras más complejas se las llamó **eucariotas** (del griego *eu* , que significa "verdadero" o "bien" y *carion*, "núcleo"). A las células sin núcleo ni organelas y que parecían ser más simples, se las llamó **procariotas** (del griego *pro*, que significa "antes" o "anterior" y *carion*, "núcleo": previas al núcleo).

Las células, tanto eucariotas como procariotas, pueden tener formas muy diversas. Hay células cúbicas, cilíndricas, esféricas, estrelladas e incluso, algunas que no tienen una forma fija, sino que se modifican al moverse. Por lo general, la forma que tienen las células se relaciona con la función que cumplen, sobre todo en las células eucariotas, que pueden formar tejidos y son parte de una gran diversidad de seres vivos.




*Las células pueden tener formas muy diversas.*

Las células también pueden variar mucho en cuanto al tamaño. La mayoría de las células solo son visibles bajo el microscopio, aunque algunas células se pueden detectar a simple vista. Las células microscópicas más pequeñas son las procariotas, ya que pueden medir 0,5 micrómetros, es decir, pueden ser más de mil veces más pequeñas que 1 mm. En contraste, las células reproductivas femeninas de ciertos mamíferos y aves, que son eucariotas, se pueden ver con el ojo humano; de hecho, la célula más grande que se conoce es el huevo de avestruz, y mide unos 20 cm de diámetro.



*El huevo de avestruz es la célula más grande que se conoce.*

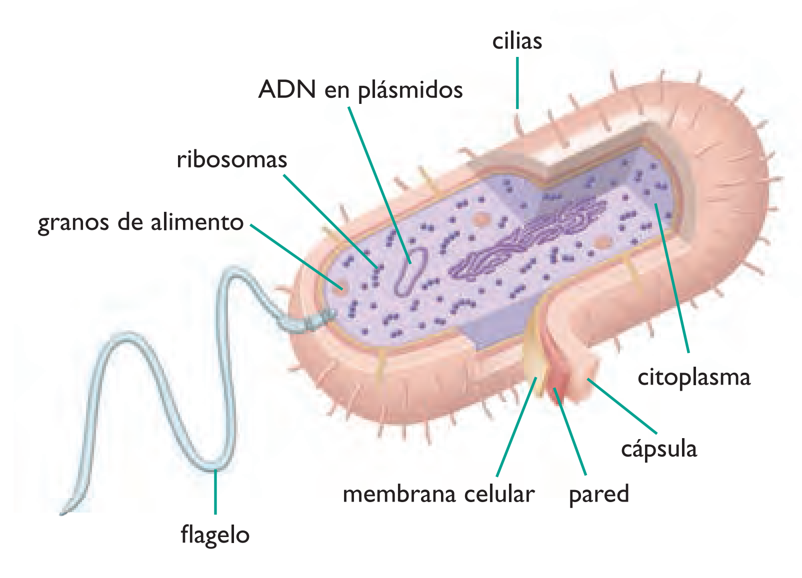
## Células procariotas

Las células procariotas son las más sencillas y pequeñas de todas las células. También serían las más antiguas. Actualmente, existen dos tipos de organismos constituidos por células procariotas: las eubacterias y las arqueobacterias, ambos son unicelulares, es decir que tienen una sola célula.

Las células procariotas no tienen compartimentos internos delimitados por membranas, y por este motivo todas las sustancias y estructuras se encuentran libres en el citoplasma. En este tipo de células, el material genético que se encuentra en los cromosomas (moléculas de ADN) también está libre en el citoplasma. Los cromosomas procariotas son de forma circular y, por lo general, hay uno por célula. Las células están rodeadas por una membrana plasmática, que determina un límite y permite el ingreso y la salida de sustancias, y por fuera tienen una pared celular que las protege y les da forma.

Además del ADN cromosómico, los procariotas pueden tener pequeñas moléculas de ADN circular llamadas *plásmidos*, que también contienen información genética, aunque esta información no es esencial para la vida de la célula.

Algunas bacterias son capaces de realizar fotosíntesis, como es el caso de las cianobacterias, y este proceso se lleva a cabo en pliegues internos de la membrana plasmática. Muchas bacterias poseen, además, una estructura alargada llamada *flagelo*, que les permite desplazarse.



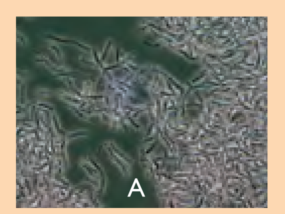

*Esquema de una célula procariota.*

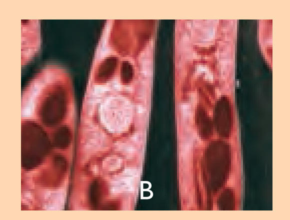


### CIENCIA EN ACCIÓN

**Los microscopios**

Gracias a las innovaciones hechas en los microscopios, fue posible describir la estructura interna de estos seres vivos tan pequeños: los procariotas. Existen dos tipos de microscopios: el óptico y el electrónico. El microscopio óptico basa su funcionamiento en el paso de la luz a través de dos lentes, el objetivo y el ocular, que aumentan el tamaño de la imagen hasta unas 1.000 veces. El microscopio electrónico, en cambio, funciona con un haz de electrones, y permite agrandar la imagen hasta unas 100.000 veces.




*Un mismo tipo de célula vista a través de un microscopio óptico (A) y de un microscopio electrónico (B).*

» Relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

### ACTIVIDADES

1. ¿Con qué se relaciona la forma de las células?
2. ¿Qué características tienen las células procariotas? ¿Qué tipo de microscopio se utilizó para observar su estructura interna?
3. Busquen imágenes en Internet de células de distintos seres vivos, e indiquen qué forma tienen.
4. Averigüen cuál es la célula más grande en los seres humanos. ¿Se podrá ver a simple vista?

## Las células eucariotas

Las células eucariotas son más grandes y complejas que las procariotas, y aparecieron casi 2.000 millones de años más tarde.

La característica más importante que tienen estas células es la presencia de estructuras internas limitadas por membranas, que reciben el nombre de **organelas**. Cada organela cumple una función en la célula, como sucede con los órganos en un animal.

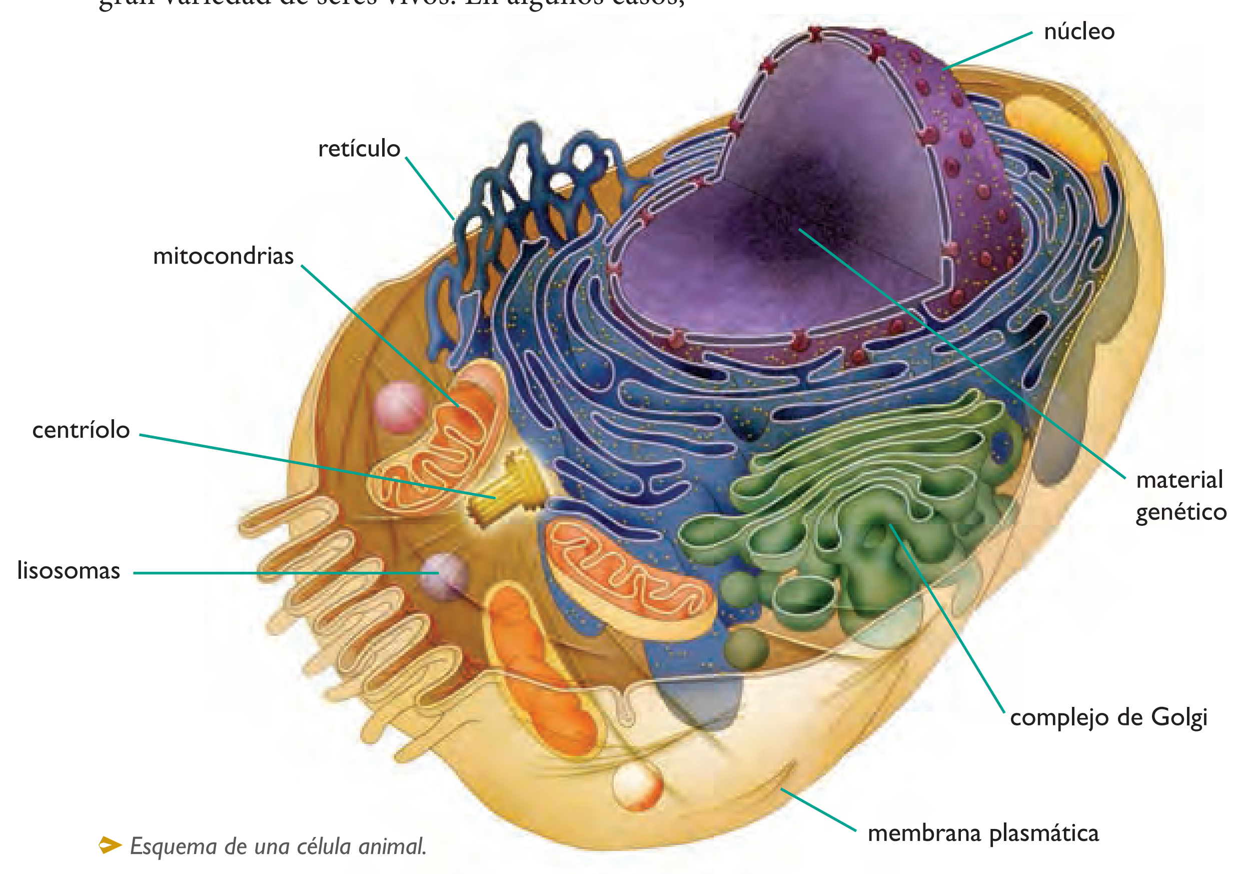
El material genético también se encuentra en forma de ADN, pero no es circular, está asociado a proteínas, y se encuentra dentro de un núcleo limitado por dos membranas.

Este tipo de célula posee una red de fibras proteicas que atraviesa el citoplasma, llamada **citoesqueleto**, que mantiene la forma de la célula y la disposición de las organelas, y a su vez posibilita el movimiento celular.

Las células eucariotas se encuentran en una gran variedad de seres vivos. En algunos casos, se trata de organismos formados por una sola célula, como muchos protistas, y en otros se trata de organismos formados por muchas células, como los animales, las plantas, algunas algas y algunos hongos. De acuerdo con el organismo, las células eucariotas pueden tener ciertas características especiales.

### Las células de los animales

Todos los animales están formados por muchas células eucariotas. Si bien ciertas características especiales, como la forma, dependen de la ubicación y de la función de las células dentro del organismo, todas las células animales tienen propiedades comunes: no tienen pared celular; tienen una organela que solo se presenta en este tipo de células, los lisosomas, que se encargan de digerir sustancias dentro de las células, y poseen una estructura que participa en la división celular, llamada *centríolo*.




*Esquema de una célula animal.*

## Las células de las plantas

Al igual que los animales, las plantas son organismos formados por células eucariotas, pero con ciertas características distintivas. Por fuera de la membrana, una pared celular formada fundamentalmente por celulosa, le aporta protección y sostén a las células, y determina su forma.

Las células vegetales tienen una organela llamada *vacuola*, similar a los lisosomas de las células animales. Esta vacuola suele ubicarse en el centro, y además de almacenar sustancias de reserva, como agua, sales y otros nutrientes, contribuye a que las células mantengan su forma.

La vacuola y la pared de las células vegetales son las que le dan turgencia a la planta, es decir, rigidez. Cuando la vacuola está llena de agua, se expande y hace presión sobre la membrana celular; esta, a su vez, presiona la pared celular, así la célula mantiene su forma. Cuando no hay suficiente agua en la vacuola, esta presión disminuye y se genera un espacio entre la membrana y la pared. Como la pared es rígida, la célula no pierde su forma, pero pierde turgencia. La pérdida de turgencia se observa cuando a una planta le falta agua, y sus hojas y el tallo pierden firmeza.

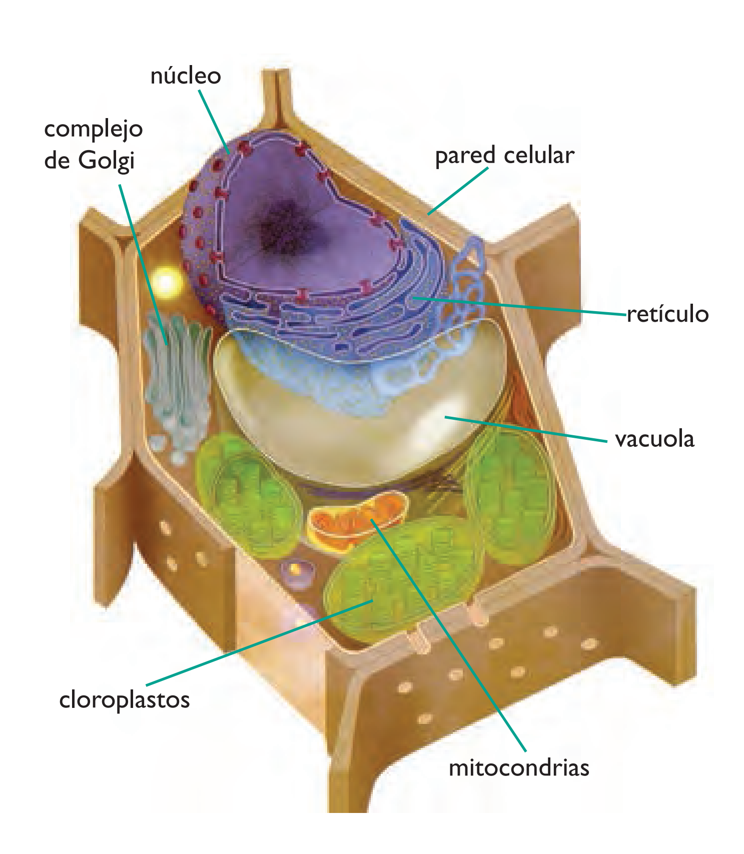
Otro tipo de organelas que está presente solo en este tipo de células son los cloroplastos, donde se lleva a cabo el proceso de fotosíntesis. Los cloroplastos poseen un pigmento llamado *clorofila*, que capta la energía lumínica. Este es el responsable del color verde de las plantas.

Algunas células vegetales tienen, además, organelas con pigmentos de otros colores, llamadas *cromoplastos*, y son las responsables, por ejemplo, del color de los pétalos de las flores o de los frutos.

Las células vegetales presentes en tejidos de reserva, como las raíces de algunas plantas, tienen organelas que se llaman *plástidos*, y en las que se almacenan sustancias como almidón o lípidos.

A diferencia de las células animales, no poseen centríolo ni lisosomas.






*Esquema de una célula vegetal.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué características son propias de las células eucariotas?

2. ¿Qué estructuras y organelas son exclusivas de las células eucariotas vegetales?, ¿cuáles son exclusivas de los animales?

3. Los lisosomas tienen la función de digerir sustancias dentro de las células, y esto se relaciona con la forma de obtención de nutrientes. ¿Por qué creen que las células vegetales no tienen lisosomas?

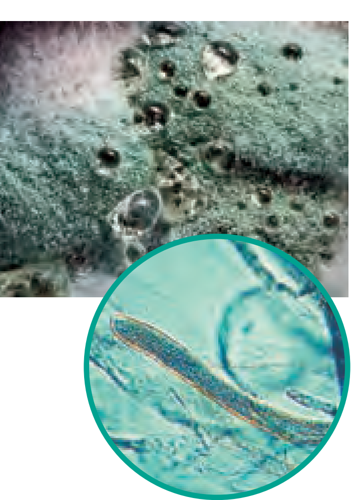
4. ¿Qué estructura de las células vegetales observó Hooke en la lámina de corcho? ¿Lo podría haber observado con un tejido animal? ¿Por qué?

5. Para observar con claridad las estructuras internas de las células en un microscopio óptico, deben utilizarse colorantes, mientras que en una célula vegetal, algunas estructuras ya tienen color. ¿Cuáles creen que son dichas estructuras y por qué?

## Otros seres vivos con células eucariotas

Además de los animales y de las plantas, existe una gran diversidad de seres vivos que también poseen células de tipo eucariota, como los hongos, las algas o los protozoos.

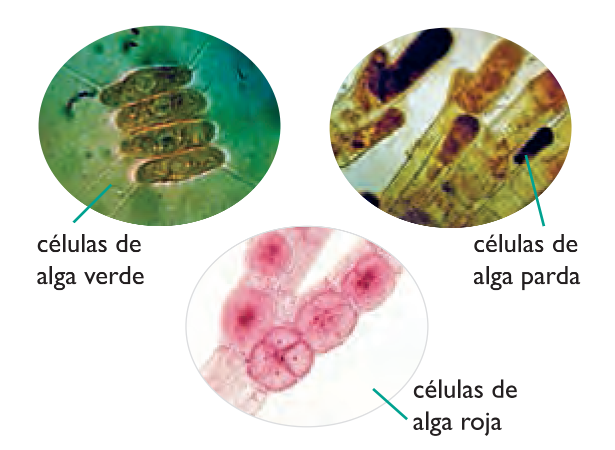
Las células de los **hongos** poseen pared celular pero, a diferencia de las células vegetales, esta no es de celulosa, sino de una sustancia llamada *quitina*. Además, los hongos no poseen cloroplastos, y no son capaces de llevar a cabo el proceso de fotosíntesis. Algunos hongos están formados por una única célula, y otros están formados por muchas. En algunos casos, las células forman una estructura unida sin septos o paredes, con un citoplasma compartido, que recibe el nombre de *hifa cenocítica*.



*Las hifas cenocíticas tienen muchos núcleos y un citoplasma compartido.*

Las **algas** pueden estar formadas por una sola célula o por muchas. Son organismos que producen su propio alimento a través de la fotosíntesis igual que las plantas, por lo tanto, y también por ser eucariotas, sus células tienen cloroplastos. Las algas verdes tienen cloroplastos con clorofila, mientras que las algas de otros colores, como pardas o rojas, poseen pigmentos de otros colores además de la clorofila, por lo que son capaces de captar luz de una gran variedad de colores.

Los **protozoos** son organismos unicelulares heterótrofos, es decir, deben tomar su alimento del medio. Hay una gran cantidad de protozoos con características muy diversas. Algunos son de vida libre, por lo general acuática, y otros son parásitos de otras especies. Algunos grupos de protozoos tienen células muy complejas, que además de organelas tienen partes o zonas que cumplen funciones específicas. Los paramecios, por ejemplo, son protozoos del grupo de los ciliados, ya que poseen estructuras móviles llamadas cilias a lo largo de toda su membrana. Tienen una invaginación especial de la membrana por donde ingresan los alimentos, llamada *citostoma*, que actúa como "boca" y se comunica con la citofaringe, que funciona como una especie de "garganta". Los alimentos ingresan al citoplasma dentro vacuolas digestivas, dentro de las cuales son digeridos; los restos de los alimentos que no se digieren se eliminan en otra abertura específica de la célula, llamada *poro anal* o *citopigio*.




*Las células de las algas poseen distintos pigmentos, además de la clorofila, que les permiten captar luz a distintas profundidades.*



*Las células de muchos protistas, como los paramecios o las amebas, son muy complejas y tienen organelas con funciones especializadas.*





# El uso de algas unicelulares como indicadores de la calidad del agua

Los ambientes siempre están sujetos a muchos cambios, que pueden ser naturales, como un período prologando de sequía, o producidos por el hombre, como la liberación de sustancias tóxicas a un curso de agua. Una de las formas de evaluar las condiciones de un ambiente es a través del estudio y el seguimiento de la población de un organismo indicador.

Los **organismos indicadores** son seres vivos muy sensibles a los cambios ambientales, responden rápidamente frente a ellos, ya sea a través de una variación en su aspecto o comportamiento, a través de la muerte y disminución de la cantidad total de individuos o, por el contrario, a partir de un aumento en la reproducción y de su gran proliferación. Es conveniente también que los organismos tomados como indicadores sean muy abundantes en el ambiente, fáciles de identificar, y que se conozcan muy bien sus características y sus ciclos de vida.

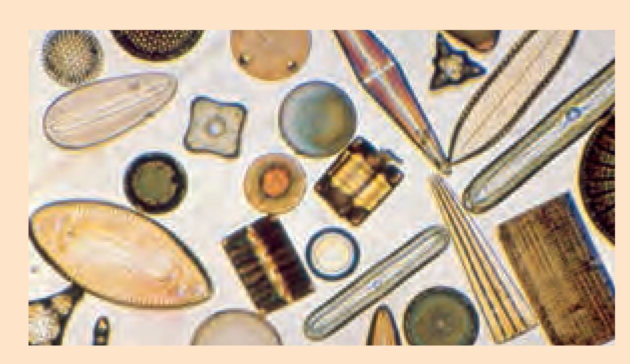
Las diatomeas son algas unicelulares, muy abundantes en todos los cursos de agua, tanto de agua salada como agua dulce. Algunas especies se encuentran en el fitoplancton (comunidades flotantes de microosganismos fotosintetizadores), y otras se hallan en el bentos, es decir, en el fondo y adheridas a algún sustrato.

Las diatomeas pueden ser utilizadas como indicadores biológicos de la calidad del agua por varios motivos.

* En algunas especies los cambios afectan su crecimiento fácilmente, y otras especies, por el contrario, son muy tolerantes.
* Es posible obtener muestras que contengan diatomeas en áreas muy pequeñas y de forma sencilla, ya que son muy abundantes en todos los cursos de agua.
* Es posible detectar cambios en corto plazo, debido a que se reproducen muy rápidamente.
* No se dañan al tomar la muestra, debido a que poseen un esqueleto de sílice, llamado *frústula*, que les aporta resistencia; las muestras se pueden preservar, y los resultados se pueden volver a chequear en otros laboratorios.
* Se pueden cultivar en un laboratorio muy fácilmente, por lo que se pueden realizar experimentos y determinar el comportamiento frente a ciertos cambios controlados.

Por lo general, las diatomeas se ven afectadas frente a modificaciones fisicoquímicas de la calidad del agua: cambios en la temperatura, cambios en la acidez, cambios en la composición mineral, presencia de contaminantes y exceso en la concentración de materia orgánica.

Al observar una muestra de agua, se puede determinar, a partir de la presencia y ausencia de distintas especies, así como de la cantidad y aspecto de las diatomeas presentes, qué cambios ocurrieron en el agua de la que se tomó la muestra.



*Las diatomeas son fáciles de reconocer debido a su pared compuesta por sílice llamada frústula.*

* ¿Por qué las diatomeas pueden ser utilizadas como organismos indicadores?
* ¿Qué información les parece que pueden brindar las diatomeas que son muy tolerantes a los cambios?
* Averigüen cuáles son las especies de diatomeas que se encuentran en algún curso de agua cercano al sitio donde viven (río, lago, laguna o mar).
* Las diatomeas también pueden ser utilizadas para hacer un seguimiento de la calidad del agua a lo largo de los años —e incluso, siglos—, ya que es posible hallar fósiles en buen estado. ¿Qué estructura de las diatomeas creen que favorece a la preservación de los fósiles?

>> Relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.

## La organización de las células eucariotas: las organelas

Las células eucariotas se caracterizan por tener organelas, es decir, estructuras internas delimitadas por membranas. Cada organela tiene características particulares, y cumple una función determinada. Su comportamiento podría compararse con el de un "órgano" en un organismo multicelular; de allí el nombre "organela".

Algunas organelas se encuentran en todas las células eucariotas, y otras son propias de las células animales o vegetales.

envoltura nuclear

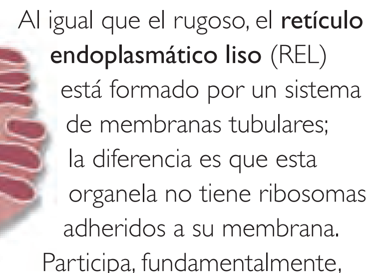
nucléolo

El **núcleo** está delimitado por la envoltura nuclear, formada por una membrana externa y por otra interna. Esta envoltura tiene poros, por donde ingresan y salen del núcleo algunas sustancias.

Dentro del núcleo se encuentra el material genético en forma de moléculas de ácido desoxirribonucleico (ADN) que, asociado a proteínas, forma la cromatina. El ADN controla el funcionamiento de las células, y además contiene la información que se transmitirá a las células hijas cuando se lleve a cabo la división celular.

ribosomas

El **retículo endoplasmático rugoso** (RER) es un sistema de membranas en forma de tubos o sacos que, en la zona cercana al núcleo, se comunica con la membrana nuclear externa. Posee unas estructuras, llamadas ribosomas, adheridas a su membrana, lo que le da el aspecto de "rugoso" cuando se lo observa al microscopio. En esta organela se sintetizan proteínas, sobre todo las proteínas que formarán parte de la membrana plasmática, o que serán liberadas al exterior celular.



Al igual que el rugoso, el **retículo endoplasmático liso** (REL) está formado por un sistema de membranas tubulares; la diferencia es que esta organela no tiene ribosomas adheridos a su membrana. Participa, fundamentalmente, en la fabricación de lípidos.

El **complejo de Golgi** también es un sistema de membranas, y tiene forma de sacos aplanados. Se comunica con el retículo endoplasmático rugoso, y recibe las proteínas que allí se forman; las modifica, las empaqueta y las acumula en vesículas. Algunas vesículas luego se unen con la membrana plasmática; otras dan origen a ciertas organelas, como los lisosomas.

Los **lisosomas** son organelas que solo se encuentran en las células animales, y se forman como vesículas que se desprenden del aparato de Golgi. Actúan como el "estómago" de las células, ya que tienen en su interior sustancias ácidas y enzimas que favorecen la degradación y ruptura de las sustancias que ingresan a la célula.

enzimas

Los **ribosomas** no son organelas, ya que no son estructuras delimitadas por membranas. Están formados únicamente por moléculas de ácido ribonucleico (ARN) asociado a proteínas, se encuentran en el citoplasma, o adheridos a la membrana del retículo endoplasmático rugoso, y participan en el proceso de fabricación de proteínas. Las células procariotas también poseen ribosomas.

membrana externa

membrana interna

Las **vacuolas** son vesículas que también provienen del aparato de Golgi. En las células animales, son pequeñas y numerosas, y cumplen la función de almacenar agua y algunas sustancias. En las células vegetales, suelen ser una sola y de tamaño muy grande, incluso mayor que el núcleo, y cumple también la función de mantener la turgencia y la forma de las células.

Las **mitocondrias** son organelas delimitadas por dos membranas, una externa y una membrana interna, entre las que se encuentra el espacio intermembrana.

Dentro de esta organela, se lleva a cabo el proceso de respiración celular, a través del cual las células transforman el alimento junto con el oxígeno, y obtienen energía. Las mitocondrias poseen su propio ADN, que es similar al de las células procariotas. También poseen ribosomas, y son capaces de fabricar algunas proteínas.

tilacoides

Los **cloroplastos** son organelas que se encuentran en las células de los organismos eucariotas que hacen fotosíntesis, como plantas y algas.

Al igual que las mitocondrias, poseen una doble membrana, y entre ellas, un espacio intermembrana. En el interior del cloroplasto, a su vez, hay una serie de sacos o de vesículas aplanadas que se llaman discos tilacoides. Allí se encuentra un pigmento llamado *clorofila*, capaz de captar la energía lumínica del Sol a través del proceso de fotosíntesis. Al igual que las mitocondrias, los cloroplastos poseen ADN de tipo procariota.

Los **plastos** o **plástidos** son organelas que solo se encuentran en las células de las plantas y de las algas. Los leucoplastos son incoloros, y habitualmente contienen sustancias de reserva, como almidón o algún lípido. Los cromoplastos tienen pigmentos que les dan color a las distintas partes de las plantas —flores, frutos, hojas, tallo—; los cloroplastos son un tipo especial de cromoplasto que tiene el pigmento clorofila, que es verde.



## La forma y el sostén de las células eucariotas

Ciertas estructuras son propias de las células eucariotas, pero no son consideradas organelas. Algunas de estas estructuras son el citoesqueleto y la pared celular.

El **citoesqueleto** es un conjunto de tubos y de filamentos de proteínas, que forman una red. Mantiene la forma de la célula y permite el movimiento. También participa en la división del material genético en la división celular. Está presente en todas las células eucariotas.

La **pared celular** es una estructura que recubre la célula por fuera de la membrana plasmática, y le da soporte y forma. Está presente en las células de las plantas, en las células de los hongos y en las de las algas. Como vimos, en algunos casos es de celulosa y en otros es de quitina.

**ESTUDIO** DE CASO



**¿Qué beneficio les trae a los espermatozoides y a las células musculares la presencia de numerosas mitocondrias? ¿Cómo relacionan esta presencia con sus funciones?**

» Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

### ACTIVIDADES

**1.** **¿En qué organelas eucariotas se llevan a cabo los siguientes procesos?**

**a.** Degradación de una bacteria que fue incorporada en la célula.
**b.** Obtención de la energía a partir de la combinación de oxígeno y nutrientes.
**c.** Producción de alimentos utilizando energía lumínica.
**d.** Acumulación de sustancias nutritivas de reserva.
**e.** Producción de proteínas que irán fuera de la célula.

## La membrana plasmática

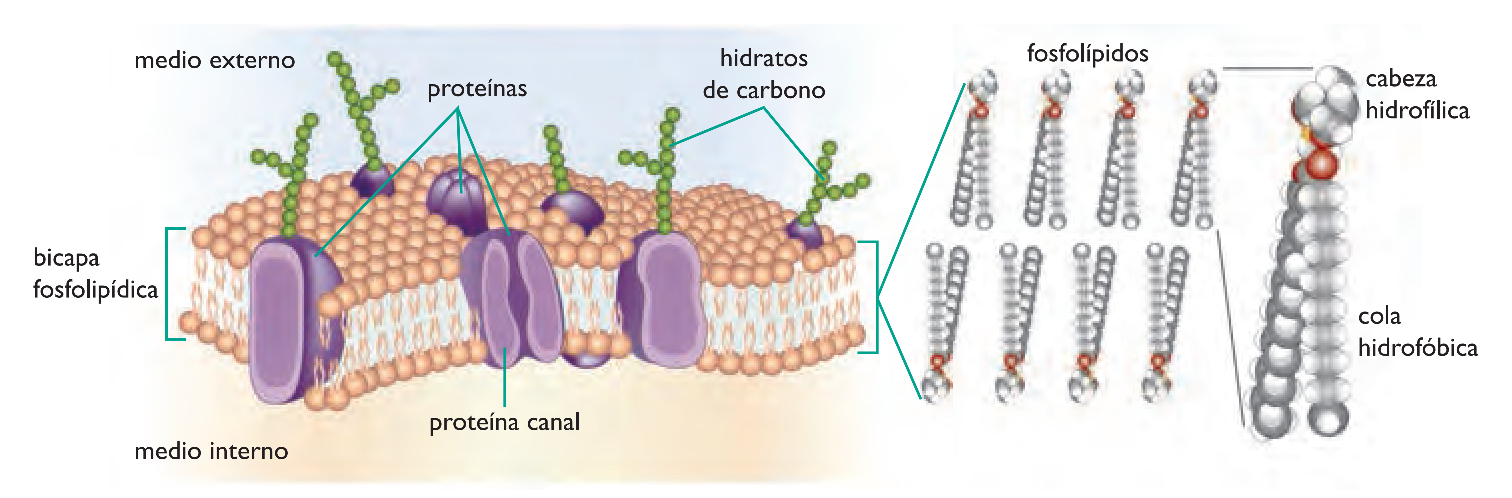
La membrana plasmática es una estructura que rodea a todas las células, tanto procariotas como eucariotas. Cumple muchas funciones importantes: ofrece un límite entre el medio externo y los procesos que ocurren en el interior de la célula; actúa como filtro selectivo para el ingreso y la salida de sustancias; y detecta señales externas que transmite al interior.

La membrana plasmática está formada, fundamentalmente, por un tipo de moléculas llamadas *fosfolípidos*. Los fosfolípidos son un tipo de lípidos (grupo de sustancias al que pertenecen las grasas) y, como tales, no son afines al agua (son hidrofóbicos), al menos en parte. La particularidad de estas moléculas es que tienen una parte que sí es afín al agua (hidrofílica). Debido a esta doble afinidad, los fosfolípidos se orientan y forman una capa doble o bicapa: los extremos o cabezas hidrofílicas se ubican hacia el líquido extracelular y hacia el citoplasma (que son acuosos); las colas, que repelen el agua, se atraen entre sí. El interior de la membrana es totalmente hidrofóbico, y funciona como una barrera casi impermeable para al pasaje de compuestos que se disuelven en agua. Además de fosfolípidos, la membrana puede tener moléculas de otros lípidos, como el colesterol y otro tipo de moléculas como proteínas y azúcares.

Las proteínas de la membrana se ubican de dos formas posibles: atravesando totalmente la membrana, o bien a un lado o al otro, interactuando con la cabeza de los fosfolípidos. Son las encargadas controlar el pasaje de sustancias de forma específica, y de percibir las señales del exterior. La cantidad y el tipo de proteínas varía de acuerdo con el tipo de célula. Algunas proteínas forman canales en la membrana que permiten el paso de partículas afines al agua.

El colesterol está presente en la membrana de muchas células eucariotas y les da cierta rigidez.

Ciertos lípidos y proteínas tienen adheridas cadenas cortas de hidratos de carbono que, por lo general, participan en procesos de comunicación entre células.




*La membrana está formada por una bicapa fosfolipídica, por proteínas, y por pequeños fragmentos de hidratos de carbono adheridos a algunas proteínas o lípidos.*

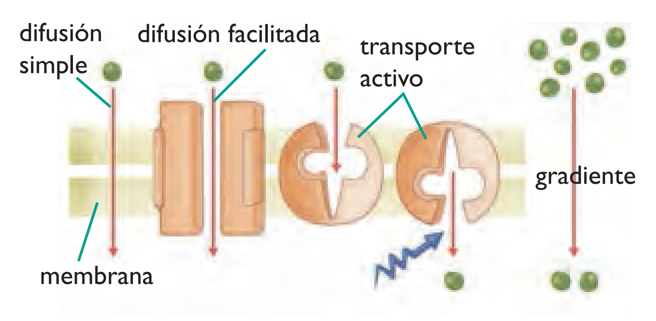
*Los fosfolípidos poseen una cabeza o extremo hidrofílico (afín al agua), y dos colas hidrofóbicas.*

## Transporte de sustancias a través de la membrana

Debido a que el interior de la bicapa de fosfolípidos es totalmente hidrofóbico, las únicas sustancias que pueden atravesarla libremente son las moléculas pequeñas hidrofóbicas, como el oxígeno y el dióxido de carbono. Las sustancias que son afines al agua deben salir o ingresar a las células con la ayuda de las proteínas de membrana.

El transporte de las sustancias a través de la membrana depende de la diferencia de concentración, o gradiente, a un lado y al otro, es decir, en el exterior y el interior celular. Las sustancias tienden naturalmente a pasar desde el sitio donde están más concentradas hasta el sitio en el que están menos concentradas, de modo de "emparejar" las concentraciones a ambos lados. Se dice que este es un pasaje "a favor del gradiente", y se llama **difusión simple**, si es a través de los fosfolípidos, y **difusión facilitada**, si requiere de la acción de las proteínas. La difusión es un transporte pasivo, ya que no requiere energía. Pese a no tener afinidad con la zona hidrofóbica de la membrana, las moléculas de agua la atraviesan por difusión simple. Este transporte recibe el nombre de **ósmosis**.

Algunas sustancias pueden ser transportadas en contra de su tendencia natural, es decir, en contra del gradiente, gracias a la actividad de ciertas proteínas transportadoras o bombas; este pasaje es un tipo de **transporte activo**, esto significa que requiere energía para hacerse.

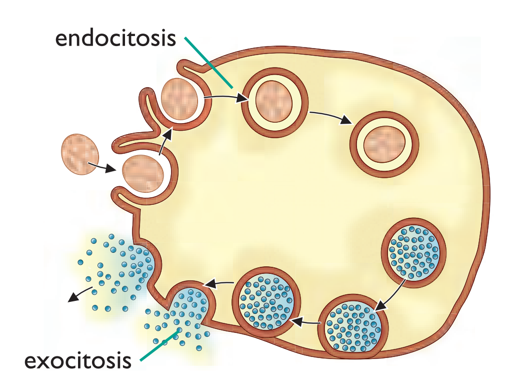



*Tipos de transporte de sustancias a través de la membrana plasmática.*

## El transporte en masa

A veces, se deben transportar cantidades relativamente grandes de partículas e incluso células completas (bacterias, por ejemplo). Esto se hace mediante un mecanismo llamado *transporte en masa*, que requiere gasto de energía. El ingreso de partículas se llama **endocitosis**, y la salida se llama **exocitosis**.

En la endocitosis, las sustancias son rodeadas por membrana plasmática, y se forma una vesícula que ingresa a la célula. En la exocitosis, las sustancias se encuentran dentro de una vesícula que se fusiona con la membrana plasmática, y de este modo son liberadas al exterior.




*El transporte en masa requiere del gasto de energía.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Por qué la forma más estable de los fosfolípidos de la membrana es una bicapa? ¿Cómo creen que se organizarían si el exterior y el interior celular fueran hidrofóbicos?
2. ¿Por qué la membrana actúa como un filtro?
3. ¿De qué modo se mueven espontáneamente las sustancias a través de la membrana? ¿En qué circunstancias es necesario el gasto de energía para el transporte?
4. ¿Cuál será el mecanismo de ingreso o salida de la célula en las siguientes situaciones?
   a. Un paramecio que incorpora una bacteria.
   b. Una célula del sistema inmunológico o de defensa que libera proteínas.
   c. Una célula del pulmón a la que ingresa el oxígeno.

## El origen de las células eucariotas

Las primeras células de las que se tiene registro eran células del tipo procariota: simples, delimitadas por una membrana plasmática, con ADN circular y sin un núcleo definido.

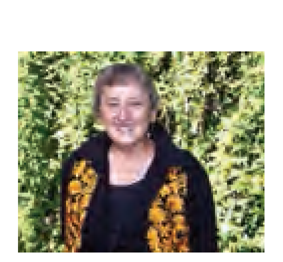
Los registros de las primeras células eucariotas datan de aproximadamente 2.000 millones de años después de la aparición de las células procariotas. Las células eucariotas son más complejas que las procariotas, ya que poseen organelas, es decir, compartimientos internos limitados por membranas, en los que se pueden llevar a cabo una gran variedad de procesos simultáneamente.

Las células eucariotas forman parte de una gran variedad de organismos, como protozoos, algas, hongos, plantas y animales.

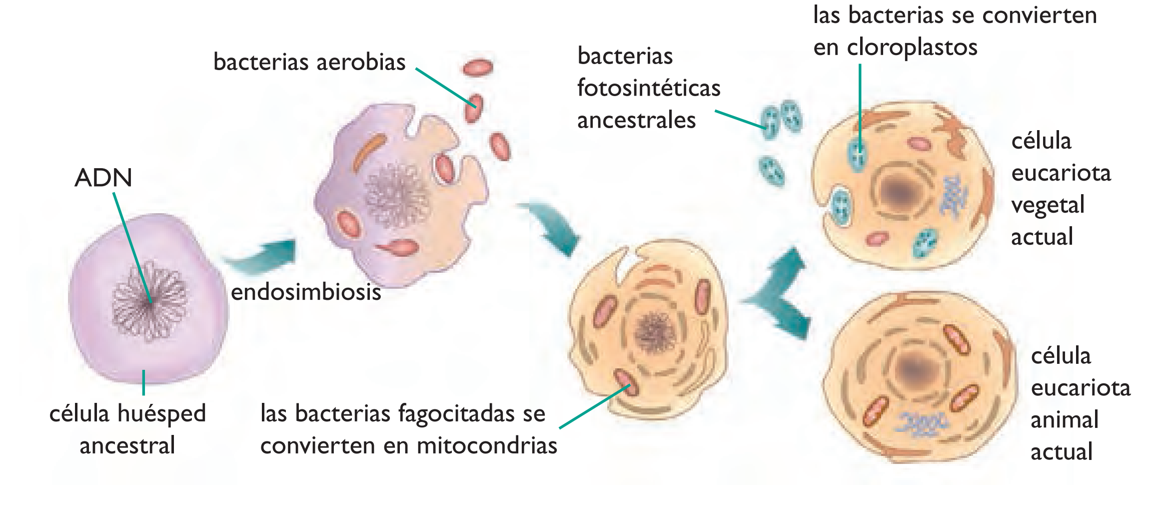
En la década de 1960, la bióloga estadounidense Lynn Margulis (1938-2011) propuso una teoría para explicar el origen de las células eucariotas, teoría conocida como **Teoría de la endosimbiosis seriada**. Esta plantea que, en principio, algunas células procariotas de mayor tamaño habrían incorporado, por endocitosis, bacterias más pequeñas que eran capaces de transformar los alimentos en presencia de oxígeno para obtener energía. En lugar de digerirlas y alimentarse de ellas, las células más grandes conservaron las células pequeñas capaces de respirar y las transmitieron a las células hijas; así crearon una relación de dependencia mutua (simbiosis), a través de la cual las dos células obtuvieron beneficios: las células más grandes (eucariotas primitivas) aumentaron su capacidad para obtener energía y realizar nuevas funciones, y proveyeron de alimento a las procariotas más pequeñas. Esto les dio a estas células una ventaja para proliferar y dar origen a las células eucariotas actuales. Algunas de estas células eucariotas primitivas, mediante el mismo mecanismo, habrían incorporado luego células procariotas capaces de realizar fotosíntesis. Las que solo incorporaron bacterias que respiraban oxígeno originaron a las células de hongos y de animales; mientras que las que además incorporaron bacterias fotosintéticas fueron las precursoras de las células eucariotas de plantas y de algas.

Como suele suceder con las teorías innovadoras en biología, esta idea no fue aceptada por la comunidad científica desde el comienzo. Margulis tuvo que defenderla y presentar evidencias durante casi 20 años, hasta que fue aceptada unánimemente por sus colegas.





*Lynn Margulis expuso su teoría en el libro* Origin of Eukaryotic Cells (El origen de las células eucariotas), *publicado en 1970.*

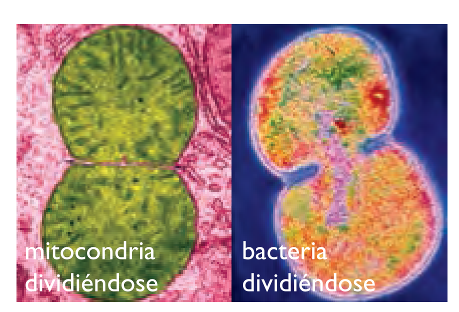


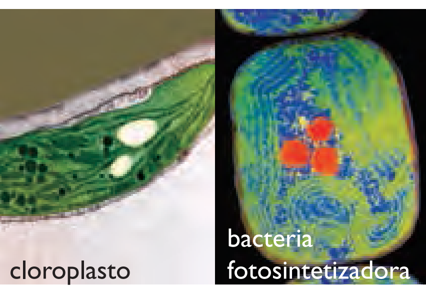

*Según la teoría endosimbiótica, las mitocondrias y los cloroplastos de las células eucariotas provienen de células procariotas que habrían sido incorporadas por las células eucariotas primitivas.*

## Evidencias a favor de la teoría endosimbiótica

Muchas características de los cloroplastos y de las mitocondrias pueden ser tomadas como evidencias a favor de la teoría propuesta por Lynn Margulis.

* Tienen un tamaño parecido al de las bacterias.
* Poseen ADN circular, similar al procariota.
* Fabrican algunas proteínas a partir de la información presente en su ADN, y tienen ribosomas de tipo procariota.
* Se dividen y generan nuevas organelas de la misma manera que las bacterias.
* Los cloroplastos tienen una estructura y una clorofila similar a la de algunas bacterias fotosintéticas.
* Poseen una doble membrana, que podría ser el resultado de haber ingresado a la célula dentro de una vesícula.
* Las organelas no son totalmente independientes del núcleo; de hecho, gran parte de sus proteínas se fabrican con información del ADN nuclear. Es posible que con el tiempo hayan perdido parte de su ADN o que este se haya incorporado al ADN nuclear.




*Las mitocondrias y los cloroplastos poseen ADN similar al de las bacterias, se dividen de forma similar y tienen otras características que se consideran evidencias de la teoría de Lynn Margulis.*

## La teoría sobre el plegamiento de membrana

Existe otra teoría que propone que las organelas de las células eucariotas se formaron a partir de plegamientos internos e invaginaciones de la membrana plasmática. Hasta hoy, esta teoría ha sido menos demostrada y menos aceptada que la teoría endosimbiótica, aunque podría explicar el origen de ciertas organelas formadas por sacos o tubos membranosos, como los retículos o el aparato de Golgi e incluso la envoltura nuclear.

plegamiento de la membrana plasmática
ADN
envoltura nuclear
retículo
célula ancenstral
ADN
citoplasma
membrana plasmática

*Según otra teoría, los compartimentos se habrían generado por unos pliegues de la membrana plasmática.*

### CIENCIAS **EN LA NET**



Observen la animación sobre la teoría endosimbiótica que se encuentra en el siguiente sitio: http://goo.gl/fKMJHB

Luego, propongan cinco preguntas del estilo de las del video (opción múltiple) para intercambiar con sus compañeros.

» Uso de las TIC en el análisis de modelos científicos.

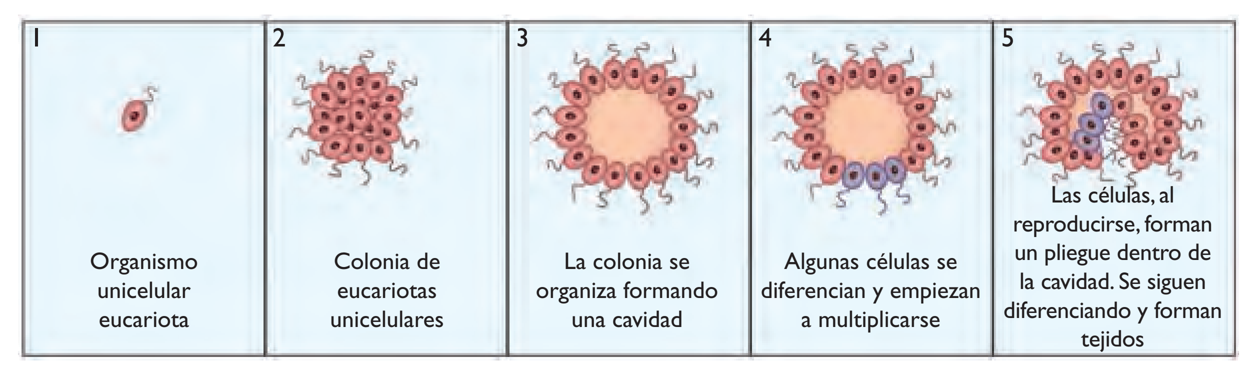
### ACTIVIDADES

1. ¿Cuáles son las características por las que se relaciona las mitocondrias y los cloroplastos con las células procariotas?
2. ¿Cómo puede explicarse la existencia de una doble membrana en las mitocondrias y en los cloroplastos?

## Organismos unicelulares, pluricelulares y multicelulares

Todos los seres vivos están formados por células, ya sea de tipo procariotas o eucariotas. Los organismos unicelulares están constituidos por una única célula. Otros organismos están constituidos por muchas células, cuando estas células son de un solo tipo, se dicen que son pluricelulares, cuando el organismo tiene varios tipos distintos de células, es multicelular.

En los organismos unicelulares, la célula única lleva a cabo todas las funciones vitales. Algunos organismos unicelulares se organizan formando colonias, es decir, conjuntos de individuos independientes que se mantienen unidos. Esto les brinda protección y, en algunas colonias, distintas células de la colonia cumplen ciertas funciones específicas, como la captación de alimentos o la reproducción. Los primeros organismos multicelulares se habrían formado a partir de colonias de células eucariotas, hace 1.000 millones de años. Las células especializadas dejaron de ser independientes y comenzaron a diferenciarse en distintos tipos de células.




*Representación de cómo pudo haber ocurrido el paso de la unicelularidad a la multicelularidad.*

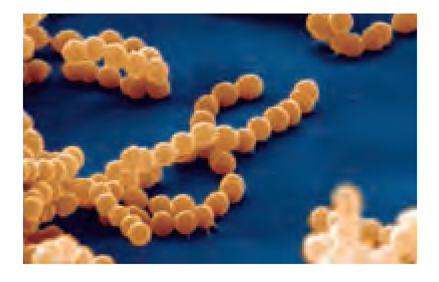
Todos los organismos procariotas, conocidos hasta ahora, son unicelulares; aunque forman colonias, las células nunca se diferencian.

Existen organismos eucariotas tanto unicelulares como pluricelulares y multicelulares.

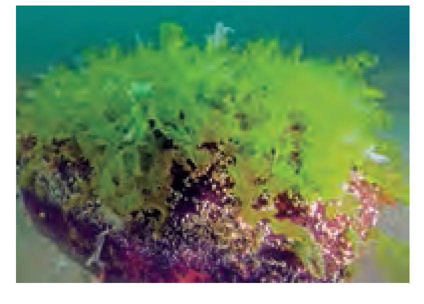
Los organismos unicelulares eucariotas son más grandes que las bacterias, y pueden ser protozoos, algas unicelulares u hongos unicelulares. Los protozoos y los hongos son heterótrofos, mientras que las algas fabrican su propio alimento a través de la fotosíntesis. Los protozoos y las algas unicelulares suelen encontrarse en ambientes acuáticos o como parásitos de otros seres vivos, como el *Tripanosoma cruzi*, que causa el mal de Chagas.

Algunas algas están formadas por muchas células de un mismo tipo, es decir, son pluricelulares. Es el caso del alga verde *Ulva*, por ejemplo.

Los organimos multicelulares incluyen a los hongos macroscópicos, a las plantas y a la mayoría de los animales, entre los que estamos nosotros, los humanos.



*Los organismos procariotas, como las bacterias, son unicelulares, pero pueden formar colonias.*



*El alga* Ulva *es un organismo eucariota pluricelular.*

## Los niveles de organización

Desde las bacterias hasta los vertebrados, las células se organizan en estructuras cada vez más complejas llamadas **niveles de organización**.

La célula es el nivel más sencillo de organización de los seres vivos, ya que es la unidad estructural y funcional más pequeña.

En muchos organismos las células forman **tejidos**, que son asociaciones de células que no pueden vivir de forma independiente.

Distintos tipos de tejidos pueden organizarse en un nivel superior y formar estructuras más complejas, llamadas **órganos**, que están especializados en realizar determinadas acciones.

Cuando varios órganos se agrupan con una función en común, se habla de un **sistema de órganos**.

Existe una gran diversidad de seres vivos y en esta variedad se observa también variedad en los niveles de organización. Algunos alcanzan el nivel de organización celular (los organismos unicelulares), en otros se observa tejido, como en las algas macroscópicas o en las esponjas de mar. Los gusanos planos y las plantas tienen órganos, pero estos no forman sistemas.

Si tenemos en cuenta la teoría de la endosimbiosis, se podría considerar que las bacterias están en un nivel de organización menor al de las células eucariotas, ya que son similares a las mitocondrias y a los cloroplastos, que son organelas.

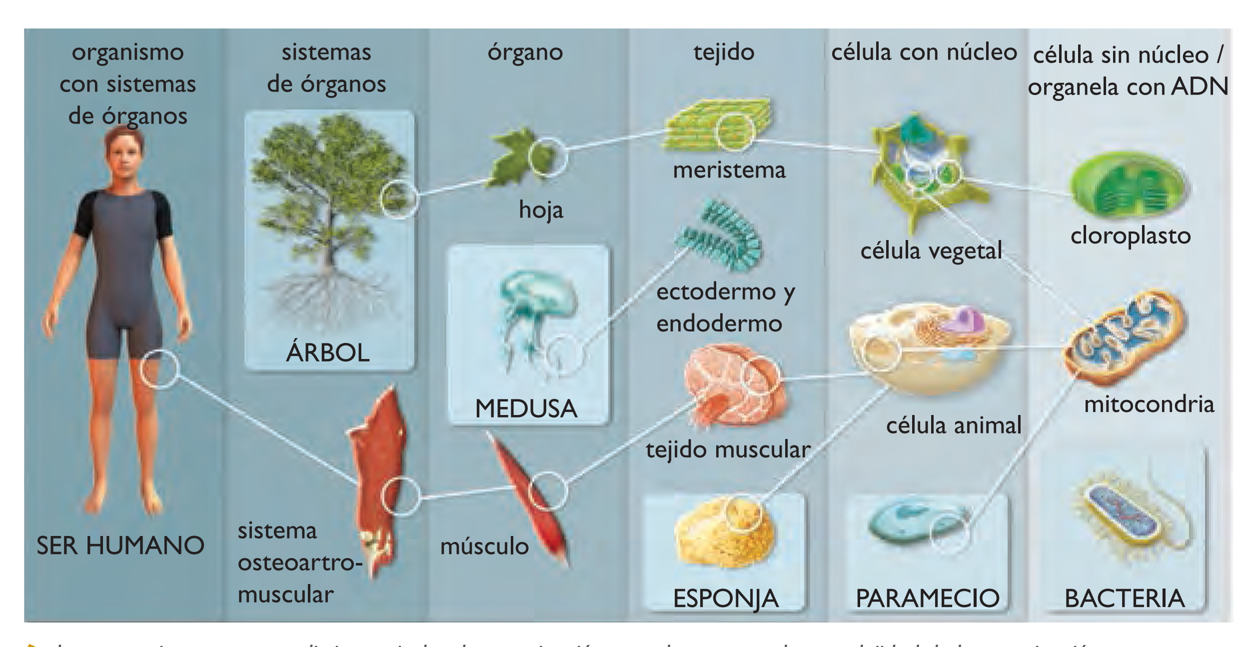


**ESTUDIO** DE CASO

¿Las esponjas y los simios presentan los mismos niveles de organización? ¿Cuál de estos animales es más complejo?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos.






*Los seres vivos presentan distintos niveles de organización, cuando mayor es la complejidad de la organización, menos independientes son las células que forman el organismo.*

### ACTIVIDADES

1. ¿A qué nivel de organización pertenecen los organismos unicelulares?
¿Cumplen menos funciones que los multicelulares?

2. Las células eucariotas más complejas son las de los organismos unicelulares. ¿Se les ocurre por qué?

# Las funciones de las células

Todos los seres vivos realizan funciones que les permiten vivir y dejar descendencia, estas funciones son la nutrición, la relación y la reproducción. Las células, ya sean organismos unicelulares o componentes de organismos más complejos, llevan a cabo estas funciones.

## La nutrición

Todas las células necesitan nutrientes para obtener energía y para fabricar sus propias estructuras. La nutrición celular abarca los procesos de incorporación y procesamiento de los nutrientes, y la liberación de las sustancias de desecho.

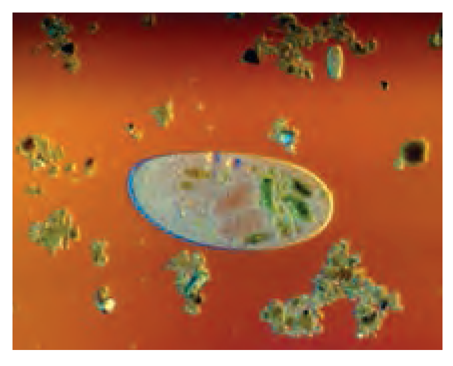
Los nutrientes son incorporados desde el medio e ingresan a la célula a través de la membrana plasmática, mediante distintos mecanismos. Algunos ingresan por difusión, y otros ingresan con un gasto de energía, como el transporte activo en contra de gradiente o el transporte en masa (endocitosis y exocitosis).

Algunas células toman nutrientes inorgánicos del medio (agua y dióxido de carbono, por ejemplo), y elaboran su propio alimento gracias a una fuente de energía externa, como la luz del Sol, o a reacciones químicas del medio. Estas células tienen **nutrición autótrofa**. Son las cianobacterias, las bacterias quimioautótrofas y las células eucariotas que tienen cloroplastos, como las de las plantas y las algas.

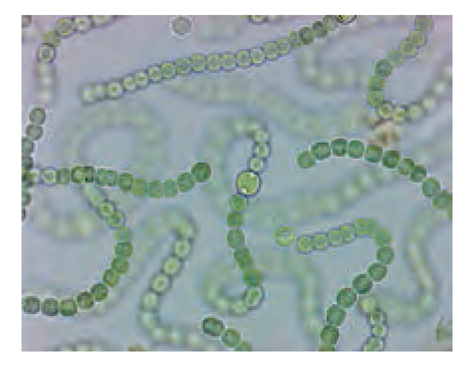
La **nutrición heterótrofa**, en cambio, implica la obtención del alimento desde el medio, y la llevan a cabo las células de los hongos, las de los protozoos y las células animales.

Tanto los alimentos producidos por las células autótrofas como los que toman las células heterótrofas son degradados para obtener energía, y son combinados para formar nuevas sustancias.

La nutrición también puede ser aeróbica o anaeróbica. Cuando es aeróbica, el oxígeno participa de la transformación de los nutrientes para obtener energía. Cuando es anaeróbica la nutrición ocurre en ausencia de oxígeno. Las células eucariotas tienen nutrición aeróbica, realizan respiración con oxígeno en las mitocondrias. Existen células eucariotas, sin embargo, que son capaces de soportar la ausencia de oxígeno, como por ejemplo las levaduras o las células musculares; estas tienen además un mecanismo que funciona de forma anaeróbica. La nutrición exclusivamente anaeróbica se presenta en algunas células procariotas.



*Los paramecios pueden incorporar algas unicelulares y bacterias por endocitosis.*



*Las cianobacterias son células procariotas autótrofas.*



*Las células de los hongos son heterótrofas. Liberan al exterior sustancias que degradan los alimentos y, luego absorben los nutrientes.*

## La función de relación en las células

Las células perciben los cambios en el medio externo y pueden responder a ellos. Son sensibles a estímulos químicos, como la variación en la concentración de sal en el medio, y a estímulos físicos, como los cambios de temperatura. Un organismo unicelular puede responder ante un estímulo mediante el movimiento, acercándose o alejándose, o bien por medio de una variación en su actividad interna. En un organismo multicelular, como el cuerpo humano, las células que forman los distintos tejidos pueden responder a estímulos distintos. Los glóbulos blancos perciben la presencia de agentes ajenos al cuerpo. Las células que formarán las raíces de una planta son sensibles a la gravedad, y su respuesta es crecer hacia el suelo.

Por otro lado, las células tienen la capacidad de percibir estímulos efectuados por otras células. En el caso de las células de un embrión, los estímuos provenientes de otras células pueden desencadenar la diferenciación de un grupo de células en un tejido en particular.

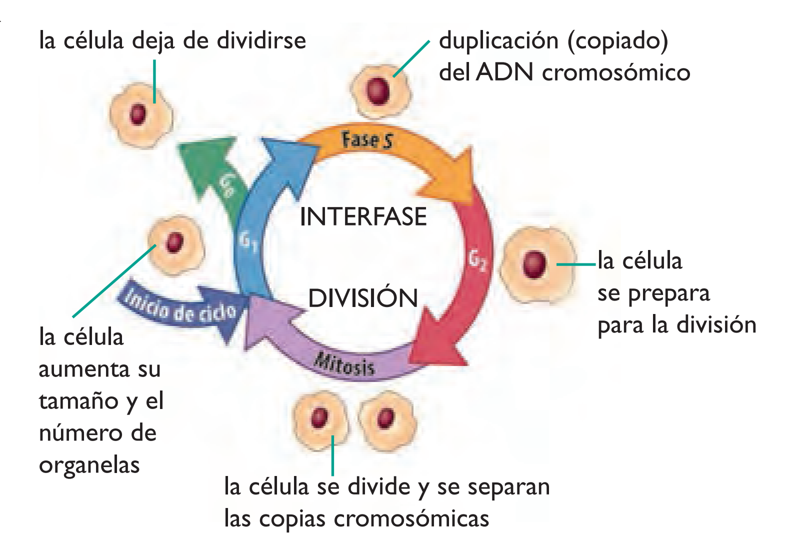
## La reproducción en las células

Cuando una célula adquiere un determinado tamaño y las condiciones del medio son favorables, puede dividirse en dos células hijas idénticas entre sí e idénticas a la célula madre.

En los organismos formados por una sola célula, las divisiones producen nuevos organismos. En los organismos multicelulares, en cambio, las divisiones generan células nuevas (que formarán parte de alguna estructura), permiten el crecimiento y reponen células dañadas.

Tanto en las células procariotas como en las eucariotas, las células hijas reciben una dotación completa del material genético; por este motivo, antes de dividirse, las células deben duplicar su ADN. En las células eucariotas, además, también se deben generar más organelas para repartir entre los citoplasmas de las dos células nuevas.

Todos los eventos en las células eucariotas responden a un **ciclo celular**, que se divide en dos grandes etapas: la interfase y la mitosis. En la interfase, la célula crece (fases G1 y G2) y duplica su material genético (fase S) y luego, en la mitosis (M), se produce la división celular: primero, se separa el núcleo en dos y finalmente, se forman dos células genéticamente idénticas.




*Esquema en el que se muestran las fases del ciclo celular de los eucariotas.*

### ESTUDIO DE CASO



Miren el video de la charla "Cómo fabricar partes del cuerpo", dada por el Dr. Alejandro Nieponice en el ciclo de conferencias TEDxRío-deLaPlata, disponible en el siguiente sitio: http://goo.gl/1zUEOI ¿De qué forma logra "cultivar" un tejido a partir de células madre?

›› Interpretación de fenómenos biológicos.

### ACTIVIDADES

1. ¿Las células con nutrición autótrofa necesitan tomar nutrientes del medio?
2. ¿Qué células pueden sobrevivir sin oxígeno?
   a. Indiquen de qué tipo de células se trata en cada caso.
   b. Indiquen si se trata de organismos unicelulares o multicelulares.

# Observar los niveles de organización

Como se vio en este capítulo, los seres vivos presentan distintos niveles de organización. El estudio de estos niveles no hubiera sido posible sin la invención del microscopio. Este instrumento permitió observar las células y entender que todos los seres vivos están constituidos por ellas.

En este taller se propone observar dos tipos de microorganismos: una planta y los microorganismos presentes en el agua estancada de un charco o de un florero.

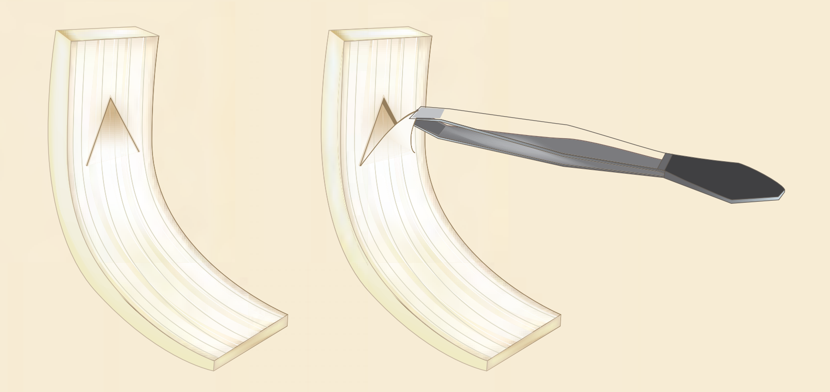
[**HIPÓTESIS** DEL TALLER] Las plantas y los microorganismos de un charco de agua presentan distintos niveles de organización.

[**MATERIALES**] Una cebolla con hojas y raíz * cuchillo * pinza * bisturí u hoja de afeitar * hisopo * portaobjetos y cubreobjetos limpios * colorante azul de metileno * muestra de agua de un florero o de un charco * gotero * servilletas de papel * papel * lápiz y goma.

[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Observen la cebolla y dibújenla, identifiquen sus partes (hojas, bulbo, raíz).

**2.** Corten al medio la cebolla con el cuchillo, y retiren con una pinza una lámina delgada de la parte interna del bulbo (el bulbo es lo que comemos).



**3.** Ubiquen la lámina sobre un portaobjetos, añadan una gota del colorante, y cubran la muestra con un cubreobjetos. Si es necesario, absorban el exceso de líquido con una servilleta.

**4.** Observen al microscopio, realicen un dibujo y señalen en él cuáles son las células.

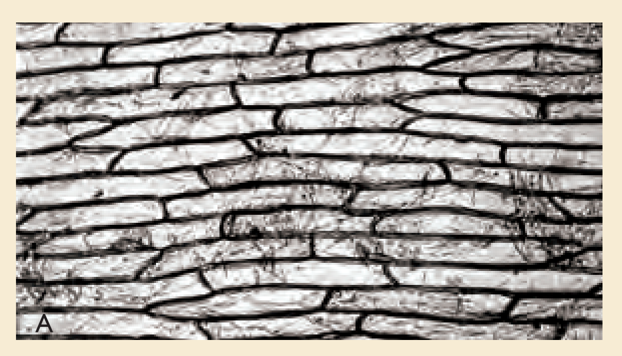
**5.** Repitan el procedimiento haciendo preparados con la raíz y con las hojas (pídanle ayuda al docente para cortar los preparados). No es necesario que agreguen colorante al preparado de las hojas.

**6.** Con el gotero, absorban parte de la muestra del agua del florero, y coloquen una gota sobre un nuevo portaobjetos. Luego, coloquen por encima el cubreobjetos, y absorban el exceso de líquido.

**7.** Observen al microscopio, dibujen alguna de las células que detectan, y tomen nota del comportamiento de las células.

## [RESULTADOS]

Los alumnos de otro curso consiguieron un microscopio con cámara de fotos y agregaron las fotos de los preparados en sus informes.




*Preparado de bulbo de la cebolla.*




*Preparado del charco de agua.*



**1.** ¿Pudieron observar algo similar en sus preparados?
**2.** ¿Qué diferencias observan en los distintos preparados?
**3.** ¿La planta y los organismos presentes en el agua presentan distintos niveles de organización? ¿Aceptaron o rechazaron la hipótesis del taller?
**4.** ¿Qué sucede cuando se reproducen las células de la imagen A? ¿Y cuando se reproducen las células de la imagen B?
**5.** ¿Cómo relacionan estas imágenes con lo que vieron Hooke y Leeuwenhoek, respectivamente? ¿Por qué Leeuwenhoek denominó "animáculos" a lo que observó?

## ACTIVIDADES

**1.** ¿Hay distintos niveles de organización en la planta de cebolla? ¿Cuáles pudieron observar?

**2.** ¿A qué nivel de organización pertenecen los organismos que observaron en el preparado del agua? ¿Qué diferencias observaron entre estas células y las de la cebolla?

**3.** ¿Por qué no es necesario teñir las células de la hoja de cebolla? ¿Cómo relacionan esto con la función de las células de los tejidos presentes en las hojas?

**4.** ¿Qué tipos de células tiene la planta de cebolla? ¿Pudieron identificar alguna estructura característica de este tipo de células? ¿Cuál?

**5.** ¿Qué diferencias en el aspecto de las células presentes en el agua y las de la cebolla llamaron más su atención? ¿Por qué?

**6.** ¿En el agua del florero había bacterias? ¿De la observación al microscopio óptico ustedes podrían decir que son procariotas? ¿Cuál es la única diferencia que pudieron percibir respecto de las células eucariotas?

**ESTUDIO** DE CASO



**1.** Vuelvan a leer el Estudio de caso del comienzo del capítulo.

**a.** ¿Qué dice el texto con respecto a las organelas presentes en células de distintos tejidos?

**b.** ¿Cómo se relaciona la función de las organelas con las funciones de los tejidos que se mencionan?

**2. ¿Qué diferencias existen entre las células procariotas y las eucariotas?**

**a.** ¿Consideran que estas diferencias fueron importantes en el pasaje a la multicelularidad? ¿Por qué?

**3. Completen el siguiente cuadro comparativo en el que se mencionan distintas células.**

| | Célula de riñón de ratón | Paramecio | Bacteria | Célula de un hongo macroscópico | Célula de hoja de una planta | Cianobacteria |
|---|---|---|---|---|---|---|
| Tipo de célula (procariota o eucariota) | | | | | | |
| Nivel de organización del organismo del que forma parte | | | | | | |
| ¿Es una célula independiente o forma un tejido? | | | | | | |
| ¿Tiene pared celular? | | | | | | |
| ¿Tiene cloroplastos? | | | | | | |

**4. ¿A qué tipo de células (procariota, eucariota animal o eucariota vegetal) corresponden las siguientes características?**

**a.** Tienen pared celular de celulosa.
**b.** Poseen su material genético dentro de un núcleo.
**c.** Conforman a los organismos pluricelulares.
**d.** Solo están presentes en las bacterias.
**e.** Poseen ribosomas.
**f.** Tienen pared celular.
**g.** No poseen membranas internas.
**h.** Pueden formar tejidos, órganos y sistemas de órganos.
**i.** Su división genera organismos nuevos.

**5. Lean el siguiente texto, y respondan a las preguntas que están a continuación.**

*Los virus son agentes que causan enfermedades. Infectan tanto a animales como a plantas e incluso, a bacterias.*

*Los virus poseen material genético, proteínas, y a veces tienen una membrana, pero no constituyen una célula. No pueden reproducirse por sí mismos, sino que requieren ingresar a otra célula para activarse y multiplicarse.*



**De acuerdo con la teoría celular, ¿son seres vivos? ¿Por qué?**

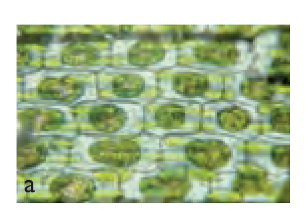
**6. Decidan si los siguientes enunciados son verdaderos o falsos. En todos los casos, justifiquen su elección.**

**a.** Las bacterias no poseen mitocondrias.
**b.** El retículo endoplasmático rugoso tiene ADN propio.
**c.** La pared de las células de los hongos no se parece a la pared de las células vegetales.
**d.** La vacuola cumple una función distinta en las células vegetales que en las células animales.
**e.** Las bacterias no realizan fotosíntesis, porque no tienen cloroplastos.
**f.** Todos los organismos unicelulares son procariotas.
**g.** Todos los organismos multicelulares son eucariotas.
**h.** Las células de las algas no tienen núcleo verdadero.
**i.** Todas las sustancias pueden ingresar y salir de la célula sin gasto de energía.

**7. Respondan a las siguientes preguntas.**

**a.** ¿Cuál es la forma de nutrición de los hongos?
**b.** Cuando surgieron las primeras células, prácticamente no había oxígeno en el aire. ¿Qué tipo de nutrición trendrían estos organismos primitivos?
**c.** ¿En qué tipos de células se observa un ciclo celular con distintas fases?

8. Observen las siguientes imágenes e identifiquen en cada caso si se trata de una célula procariota, de una célula eucariota vegetal o de una célula eucariota animal.










9. Consigan plastilina de colores, hilos, cartón, bolsas o cualquier otro material que les pueda servir, y, a partir de la información de este capítulo, armen un modelo en tres dimensiones de una célula procariota, de una eucariota animal, y de una eucariota vegetal.

10. Luego de haber leído este capítulo, ¿qué aprendieron acerca de las células?

11. Vuelvan a responder a las preguntas del comienzo del capítulo ¿Coinciden sus respuestas nuevas con las que dieron originalmente? ¿En qué cambiaron?

12. ¿Qué tema les interesó más? ¿Por qué?

13. ¿Qué tema no entendieron? ¿Sobre cuál les gustaría seguir leyendo?



## [RED CONCEPTUAL]

LAS CÉLULAS

algunas se agrupan en

formando

- ____________
- Tejidos
- Órganos
- Sistemas de órganos

siempre poseen

____________
Material genético
Citoplasma

según la Teoría celular son

Unidad ____________
y ____________

de los

Seres vivos

se clasifican en

____________

- Tienen ADN ________
- No tienen ________
- No tienen ________
- Tienen pared celular

habrían dado origen por endosimbiosis a las

Eucariotas

- Tienen ADN lineal
- Tienen ________ que cumplen distintas funciones
- Tienen ________ un núcleo definido

están presentes en organismos

____________

como

Bacterias y cianobacterias

están presentes en organismos

Unicelulares

como

____________

Multicelulares

como

Plantas y animales




*Esto sí que iba a estar bueno: visitar a quien por primera vez en la historia describió células bajo un microscopio. Si bien ya había leído algo sobre su carácter y sus excentricidades, me sorprendió el ruido que había cuando abrí la escotilla de la máquina… hasta que me percaté de que eran risas y aplausos, ya que había aparecido en medio de una obra teatral en 1676. Intrigado, me mezclé entre el público y disfruté de una comedia que pronto supe que se llamaba* El virtuoso*, que narraba las peripecias de un filósofo que medía el peso de la nada, se iluminaba con hongos brillantes, realizaba transplantes de sangre entre ovejas y humanos y hasta disecaba perros vivos para entender el funcionamiento de los pulmones. En el público todos reían. Todos, salvo el mismísimo virtuoso: Robert Hooke estaba escondido detrás de una columna. Genio de la época y campeón de los experimentos, astrónomo, naturalista, paleontólogo, filósofo y experto en cuanta disciplina cayera bajo su ojo científico. Me costó reconocerlo, ya que ni siquiera han sobrevivido cuadros con su imagen (hasta se dice que su rival, Isaac Newton, se encargó de destruir alguno); solo unos pocos escritos y su nombre. Pero ese individuo tan bajo, casi jorobado y que refunfuñaba rencor tenía que ser él. Me acerqué sigilosamente…*

# Robert Hooke, el Leonardo inglés

—¡Mr. Hooke?

—¿Qué, otro más que viene a burlarse?

—No, de ninguna manera. Le aseguro que admiro sus experimentos y sus resultados.

—Mmmmmhhhh. —Me observó como tratando de decidir si yo estaba diciendo la verdad—. No parece ser la opinión general. Mire —Y señaló al público enardecido, mientras en la obra *El virtuoso* trataba de enseñarle a bailar a una araña.

—Sí, pero ninguno de ellos comprendió la importancia de los fósiles ni de la información que nos dan sobre el pasado.

—Ajá, veo que me ha leído. ¿Es usted científico?

—Algo así… estoy de paso y no quería perderme la posibilidad de conocerlo.

—Mire qué bien… ¿A mí y no a Boyle? ¿A mí y no al chiflado de Newton?

—A usted, al mismísimo Robert Hooke. El autor de *Micrografía*… —seguí adulándolo para vencer su resistencia.

—Ah, sí, un librito interesante, y la verdad es que se vendió muy bien. Creo que les gustaron los dibujos del ojo de la mosca.

—Y los de las células de corcho, sin duda —agregué.

—Sí, modestia aparte, siempre fui un adelantado. El problema es que otros creían que habían llegado primero. Como el maldito holandés…

—¡Huygens! Claro, los dos inventaron la forma de usar resortes para mejorar la precisión de los relojes.




*Microscopio utilizado por Robert Hooke.*

—¿Los dos? —Se puso en alerta—. Creía que era a mí a quien quería conocer, muchacho. ¿O acaso fue Huygens quien describió la elasticidad de los resortes con un anagrama: ceiiinosssttuv? ¡Sí que los tuve pensando por un buen rato!

—¿Ceiiinosssttuv? —No tenía idea de qué estaba diciendo.

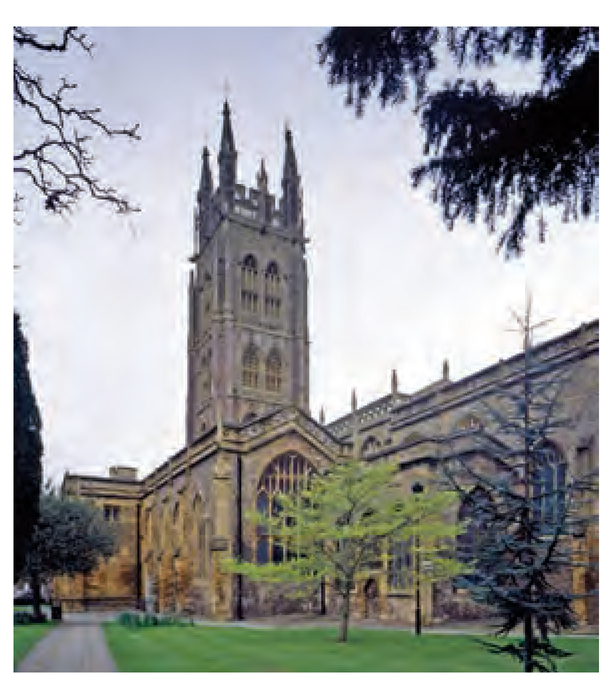
—Claro: ordene las letras y tendrá "Ut tensio, sic vis": según la extensión, será la fuerza. Brillante, ¿verdad? Pero ¿seguro que no lo manda a espiarme ese energúmeno de Newton? Porque si fuera así…

—No, no se preocupe.

—Porque ese farsante anda diciendo que él y solo él llegó a la conclusión de que los cuerpos se atraen, y que los planetas también tiran unos de otros. Gravedad, le dice. ¡Lo grave es que no acepte que se basó en mis ideas para sus cálculos! ¡Si hasta le mandé una carta!

—Creo que él acepta que hubo otros que pensaron en la gravedad antes…

—¿Pero usted vio lo que ha escrito el muy cretino? Que "si vi más lejos es porque estaba subido a hombros de gigantes"… ¡Atrevido! ¡Maleducado! Porque convengamos que la naturaleza no me ha convertido en un gigante, justamente.



*La iglesia de* St. Mary Magdalene *fue diseñada por Hooke en el contexto de la reconstrucción de Londres, luego del incendio que destruyó gran parte de la ciudad.*

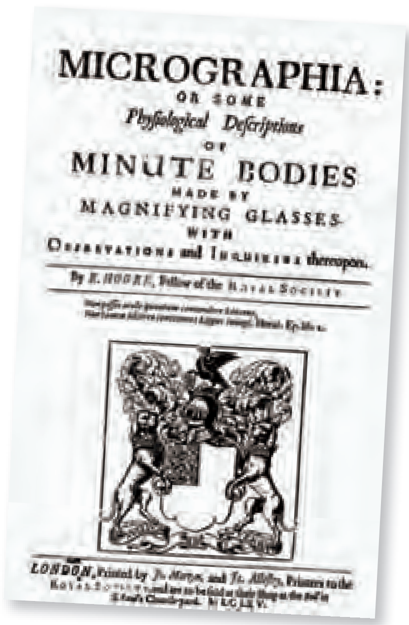
Entonces me di cuenta de que todo el tiempo tenía que mirar para abajo para charlar con mi interlocutor. Sí, Newton era también un escritor particularmente sarcástico.

—Pero lo cierto es que he logrado un buen pasar gracias a mis experimentos e inventos. —Se pavoneó—. No muchos pueden decir algo así.

—Y tampoco muchos pueden decir que ayudaron a reconstruir Londres luego del incendio.

—¡Ah, ya nos vamos entendiendo! Últimamente, ya no me respetan ni en la Royal Society, donde demostré la mayoría de las ideas que traían sus miembros. ¡Brutos, zopencos!

Pero sus insultos quedaron sepultados por una catarata de aplausos: la comedia había terminado, la gente gritaba como loca y él, el verdadero virtuoso, se apresuró a retirarse por una puerta lateral, antes de que lo reconocieran y continuaran burlándose de Robert Hooke, un genio incomprendido.



MICROGRAPHIA:
OR SOME
Physiological Descriptions
OF
MINUTE BODIES
MADE BY
MAGNIFYING GLASSES
WITH
OBSERVATIONS and INQUIRIES thereupon.
By R. HOOKE, Fellow of the ROYAL SOCIETY.

LONDON, Printed by Jo. Martyn, and Ja. Allestry, Printers to the ROYAL SOCIETY

*Portada de la publicación de Hooke:* Micrographia.

**1.** ¿Con quién compara el Viajero a Hooke, según el título de este encuentro?

**2.** ¿Qué aportes realizó Hooke a las ciencias naturales? ¿Y a la biología en particular?

**3.** Antes, era muy frecuente que una persona estudiara aspectos muy distintos de la naturaleza (los seres vivos, la biología, la geología). Elaboren un texto breve en el que expliquen, según su opinión, por qué los científicos se fueron especializando cada vez más. ¿Cuál creen que puede ser la desventaja de esta súper especialización? ¿Cuál puede ser una solución? (Pista: piensen en la evolución de los organismos unicelulares y multicelulares, y en las poblaciones de seres vivos.)

Contenidos: La reproducción de los seres vivos • La reproducción de las células • Mitosis • Gametogénesis • Reproducción asexual en organismos unicelulares y multicelulares • Reproducción sexual en organismos multicelulares • El desarrollo • Los amniotas • Ideas sobre la reproducción en la historia • Estrategias reproductivas. Estrategias r y K • Cortejo • Dimorfismo sexual • Reproducción y coevolución

# 6
# La función de reproducción



# [ESTUDIO DE CASO]



## Las paradojas del sexo

Los rotíferos son unos extraños invertebrados microscópicos. Muchos de ellos pueden resistir largos períodos sin agua en estado latente y también, a altas dosis de radiación. Pero lo más interesante es que son un misterio más dentro de un tema lleno de paradojas: el sexo.

Los biólogos todavía se hacen preguntas acerca de la función del sexo en los seres vivos. Uno tendería a pensar que —¡obviamente!— el sexo sirve para reproducirse (y, en efecto, es esencial para la reproducción de la vasta mayoría de los animales). Pero muchísimos organismos se reproducen sin sexo. Las plantas producen gajos todos los días, muchas especies de reptiles e insectos están compuestas enteramente por hembras. Reproducirse sexualmente es mucho más complicado que hacerlo asexualmente. Implica, entre otras cosas, una división celular muy complicada que reduce a la mitad el material genético. Además, en muchas especies, el encuentro con otro organismo para reproducirse puede implicar el riesgo de contagiarse enfermedades, de salir herido o incluso de morir. De hecho, si se trata simplemente de aumentar la cantidad de individuos, la reproducción asexual es mucho más efectiva. Y, sin embargo —he ahí la paradoja—, las especies con reproducción sexual tienden a ser más exitosas en el largo plazo, y los linajes evolutivos con reproducción asexual tienden a desaparecer. Por otro lado, existen ciertos grupos de animales que carecen de reproducción sexual hace decenas de millones de años. Estos "asexuales antiguos" son una paradoja adentro de una paradoja, y los rotíferos belloides son unos de ellos. ¿Qué los hace exitosos? Algunos estudios recientes indican que estos seres incorporan material genético de otras especies tan alejadas como plantas, hongos y bacterias. Seguimos sin saber exactamente para qué sirve el sexo, pero todo parece indicar que tiene algo que ver con recombinar, rebarajar y permutar nuestro material genético, combinándolo con el de nuestra pareja o, como en el caso de los rotíferos, con los de todos los bichos del charco en el que vivimos.

* Supongamos que cada hembra de una especie imaginaria, con reproducción sexual, tiene solo cuatro crías, e imaginen dos escenarios: en el primero, la hembra produce cuatro hembras como progenie. En el segundo, la hembra produce dos machos y dos hembras. Supongamos que todos los individuos mueren cuando nace la siguiente generación. ¿En qué caso habrá más individuos luego de las 5 generaciones?

* ¿Puede haber especies con solo hembras, con solo machos o con más géneros?

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

## La reproducción de los seres vivos

Todos los seres vivos, tanto los unicelulares como los multicelulares, cumplen un ciclo biológico a lo largo de su vida: nacen, se desarrollan, maduran y generan nuevos individuos similares a ellos. Es decir, llevan a cabo la función de **reproducción**.

La reproducción permite que los seres vivos transmitan su información genética a sus descendientes en generaciones, con lo cual, es una función que beneficia a la especie más que al individuo en sí, ya que permite que esta subsista en el tiempo.

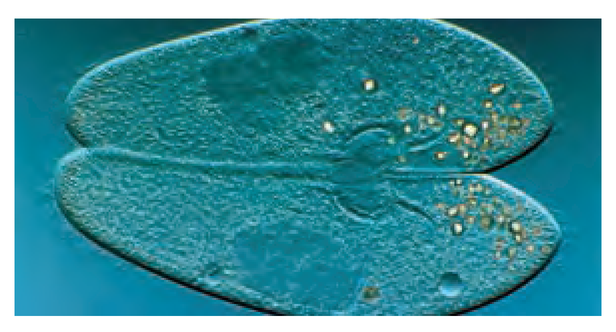
Por otro lado, sin reproducción no hay evolución. Algunos mecanismos reproductivos favorecen la aparición de cambios que generan variabilidad sobre la que actúa la selección natural y que puede llevar al origen de nuevas especies.

Los seres vivos pueden reproducirse de dos formas: asexual o sexual, de acuerdo con el tipo de organismo y con las condiciones en las que se encuentre. Cuando la reproducción es **asexual**, participa un único organismo, y sus descendientes son idénticos a él, ya que poseen exactamente la misma información genética. Este tipo de reproducción se observa tanto en organismos unicelulares como en los multicelulares, como se verá más adelante.

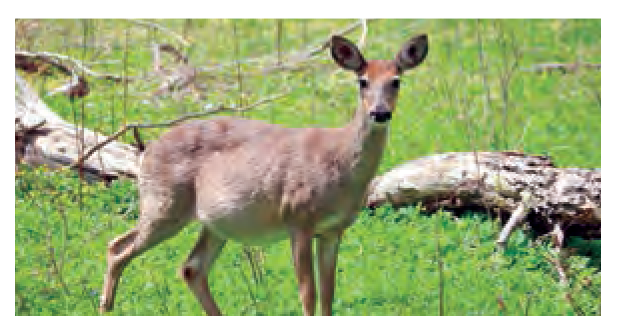
La **reproducción sexual**, en cambio, requiere la participación de dos sexos, masculino y femenino. En la mayoría de los casos, estos sexos están en individuos distintos, y cada uno produce células sexuales o **gametos**; en los animales, el gameto femenino se llama **óvulo**, y el masculino se llama **espermatozoide**. En algunos casos, un mismo organismo es capaz de producir los dos tipos de gametos, como sucede con muchas plantas, y con algunos animales. A este tipo de organismos se los llama *hermafroditas*.

Cuando los dos gametos se unen, se produce la **fecundación**, que da como resultado la primera célula del nuevo ser vivo, cuyo nombre es **célula huevo** o **cigoto**. El cigoto sufre un proceso complejo de divisiones y transformaciones que termina con la formación de un nuevo organismo, que es semejante a sus progenitores, pero no es idéntico a ninguno de ellos.

En los organismos multicelulares, la fecundación puede ser **interna**, si se lleva a cabo dentro del individuo de sexo femenino, o **externa**, si los gametos se encuentran fuera de los dos progenitores. En los seres humanos, la fecundación es interna, mientras que en muchas especies de peces, es externa. El desarrollo del nuevo ser vivo también puede ser **interno** y llevarse a cabo dentro de la hembra, como en los seres humanos, o **externo**, como en las aves y reptiles, en los que ocurre dentro de huevos.

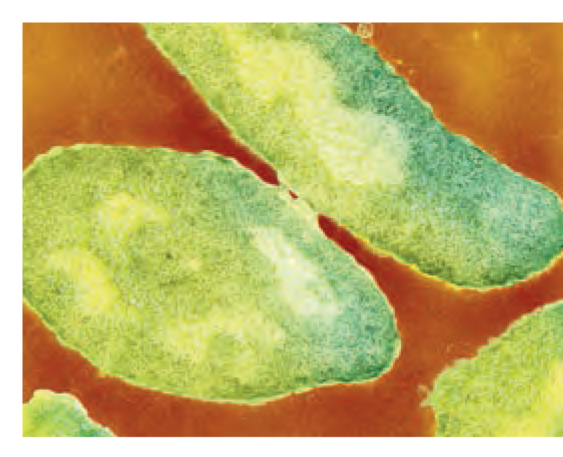


*Los protozoos se reproducen de forma asexual.*



*En los mamíferos, la reproducción es sexual, y tanto la fecundación como el desarrollo son internos.*

## La reproducción de las células



La conjugación bacteriana es una forma de generar variabilidad genética a pesar de que estos organismos se reproduzcan asexualmente. Se produce mediante una estructura llamada pili, que conecta los dos citoplasmas.

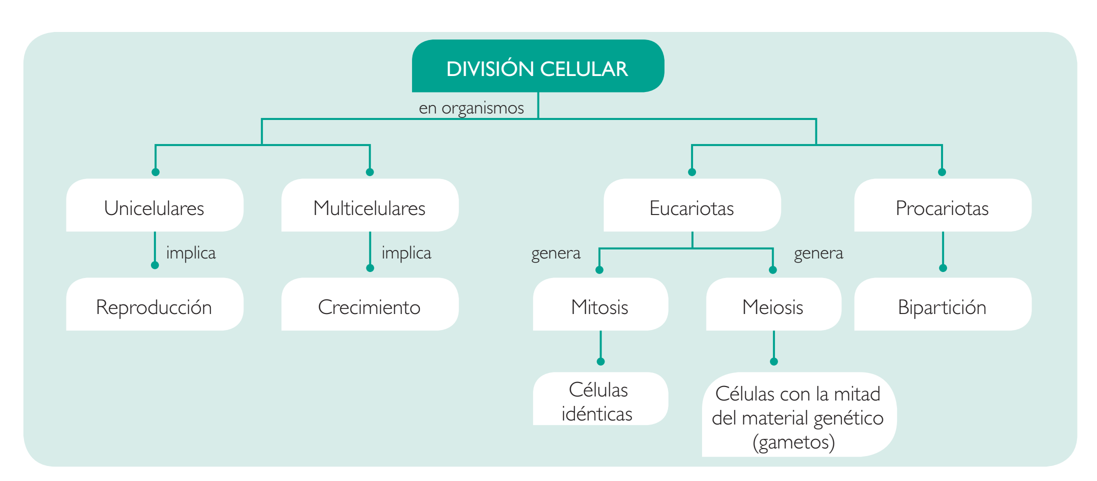
La reproducción a nivel celular puede implicar la reproducción del organismo, si es unicelular, o simplemente el crecimiento de un tejido, si se trata de un organismo multicelular.

La reproducción de las células en organismos procariotas es distinta a la de los organismos eucariotas.

En los procariotas, que se reproducen de forma asexual, la división celular equivale a la reproducción, y se llama *fragmentación*. Está precedida por la copia del material genético. Luego, se produce la estrangulación del citoplasma, lo que genera dos citoplasmas, cada uno con una de las copias de ADN, después se forma un tabique en la pared celular, y las células hijas se separan. Existen, sin embargo, mecanismos mediante los cuales las bacterias intercambian material genético, y generan células con distinta información genética. Uno de ellos es la conjugación, en la que una bacteria le transmite a otra una molécula de ADN, separada del cromosoma principal, llamada plásmido.

Las células eucariotas se dividen por **mitosis**, un tipo de división más complejo que el de las procariotas. Como resultado de esta división, se generan dos células con la misma información genética que la célula progenitora. Esta es la forma en la que se reproducen asexualmente los eucariotas unicelulares y en la que crecen los tejidos de los organismos multicelulares.

Los gametos se producen por otro tipo de división, llamada **meiosis**, que garantiza que las células hijas tengan la mitad del material genético que la célula original.




## ACTIVIDADES

1. ¿Por qué la reproducción permite la subsistencia de las especies? ¿Qué sucedería si los organismos no pudieran reproducirse?

2. ¿Qué organismos se dividen por mitosis? ¿En qué se diferencia esta división de la meiosis?

3. ¿Qué resultado tiene la división celular en un organismo unicelular? ¿Y en uno multicelular?

4. ¿En qué consiste el proceso de conjugación bacteriana? ¿Qué ventaja les otorga a las bacterias?

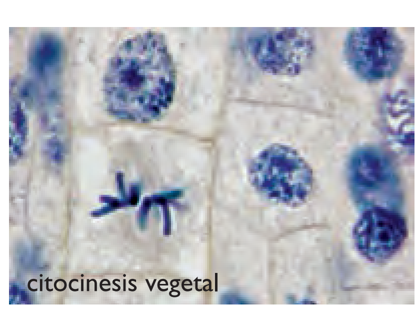
## La mitosis

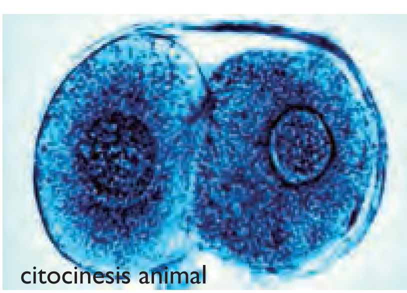
Como vimos, la mitosis es la división celular de las células eucariotas que produce células genéticamente idénticas a la original. Estrictamente, se llama mitosis a la división del núcleo; la división celular, propiamente dicha, termina con la división del citoplasma y la repartición de las organelas.

Como se vio en el capítulo 5, las células eucariotas cumplen un ciclo celular, que comprende la interfase y la mitosis. Durante la interfase, la célula crece y se multiplican las organelas (en las fases G1 y G2). Para generar dos células genéticamente iguales, primero se debe duplicar el material genético del núcleo, esto ocurre en la fase S del ciclo. Durante la mitosis, la célula reparte el material genético de forma equitativa, y origina dos núcleos. El ciclo celular termina con la división del citoplasma y la generación de dos células genéticamente idénticas.

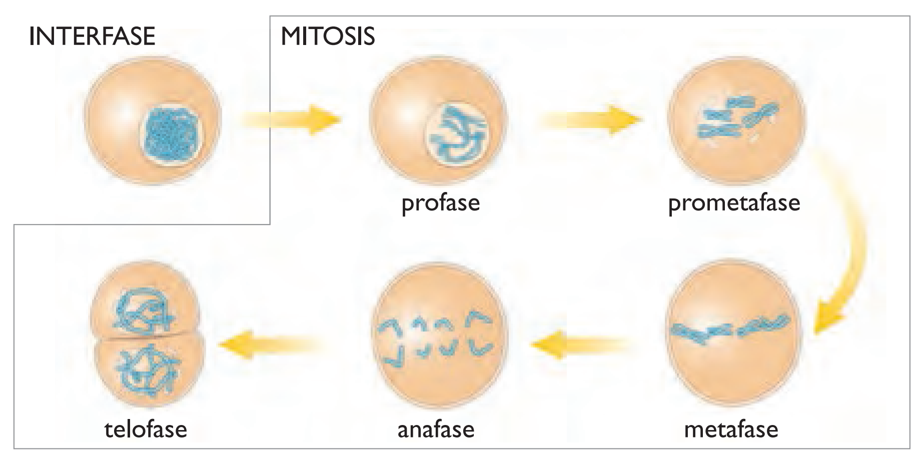
Para estudiar la mitosis, se la divide en etapas, que se corresponden con ciertos eventos, muchos de los cuales se pueden observar al microscopio. Estas etapas son: profase, prometafase, metafase, anafase y telofase.

En la **profase**, las moléculas de ADN o cromosomas, que se habían duplicado durante la fase S de la interfase, se condensan por completo; al microscopio, los cromosomas condensados se visualizan en forma de bastones. Durante la **prometafase**, la membrana nuclear se desintegra y, en la **metafase**, los cromosomas se acomodan en el plano central de la célula, llamado plano ecuatorial. En la siguiente etapa, la **anafase**, las copias de cada cromosoma (llamadas cromátidas hermanas) se separan y migran hacia los extremos o polos contrarios de la célula. La mitosis culmina con la **telofase**, etapa en la que forman las nuevas membranas nucleares que determinan los dos núcleos hijos. Luego de la división del material genético, ocurre un mecanismo de división del citoplasma o citocinesis; en las células animales se produce a través de la estrangulación del citoplasma; mientras que en las células vegetales, ocurre por formación de una nueva pared.




*La citocinesis en las células animales ocurre por estrangulamiento desde afuera hacia adentro; mientras que en las células vegetales, se forma una nueva pared que separa el citoplasma.*




*La mitosis es un proceso continuo, pero se la divide en etapas para estudiarla mejor. Varía de acuerdo al tipo de célula, pero en este esquema se muestra el mecanismo general.*

## Las células germinales

Las células germinales son aquellas que le dan a un organismo la capacidad de reproducirse. Si la reproducción es asexual, las **células germinales son asexuales**, y se denominan esporas. Las esporas provienen de un único progenitor y por sí solas dan origen a un nuevo organismo. De acuerdo con la cantidad de juegos de cromosomas que tenga el progenitor, las esporas pueden tener un solo juego, como sucede con muchos hongos y algas, o pueden tener dos juegos de cromosomas, como en las esporas de algunas plantas terrestres. En el caso de que la reproducción sea sexual, hay células germinales sexuales, y dan origen a los gametos.



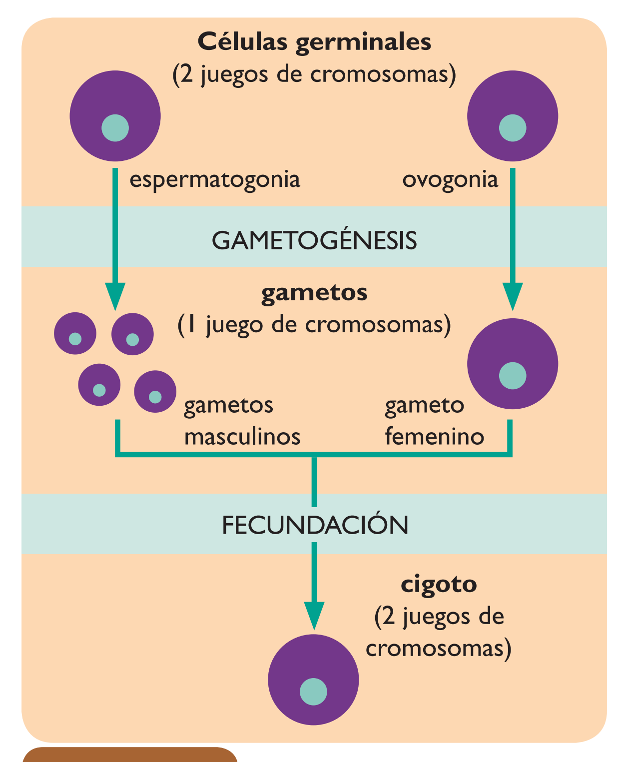


*Los helechos pueden reproducirse de forma asexual mediante esporas con dos juegos de cromosomas, presentes en estructuras llamadas soros, en el reverso de sus hojas.*

### La gametogénesis

las células germinales tienen dos juegos de cromosomas, pero los gametos que originan tienen un único juego de cromosomas; esta transformación se llama gametogénesis e involucra una meiosis. Esta reducción a la mitad en la información genética permite que, al producirse la fecundación, se origine una nueva célula con dos juegos de cromosomas nuevamente, es decir, con la información completa de la especie.

En los animales, los gametos masculinos son los **espermatozoides**; estos son capaces de desplazarse mediante una estructura con forma de látigo llamada flagelo y llegar al gameto femenino. En las plantas, los gametos masculinos se encuentran en los granos de polen; a diferencia de los espermatozoides, no tienen flagelo ni movilidad propia, y son llevados a las partes femeninas de la planta por un agente polinizador, como animales voladores, el viento o el agua. Los gametos femeninos se llaman **óvulos**, en los animales, y **oósfera**, en las plantas. Por lo general son mucho más grandes que los gametos masculinos, y no tienen movilidad.




### ACTIVIDADES

**1.** ¿A qué proceso de división celular corresponden las siguientes características?

- **a.** El material genético de las células hijas es idéntico al de la célula madre.
- **b.** Participa en la generación de gametos.
- **c.** Está relacionado con la reproducción asexual.
- **d.** Participa en la regeneración de tejidos.
- **e.** Da origen a los gametos.
- **f.** La cantidad de cromosomas de las células hijas es igual a la cantidad de cromosomas de la célula madre.
- **g.** La información genética de las células hijas es distinta de la de la célula madre.

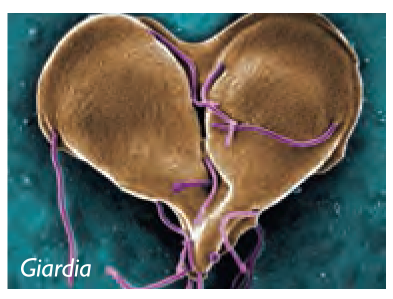
**2.** ¿En qué etapa de la mitosis se separan las 2 copias de cada cromosoma?

# La reproducción asexual

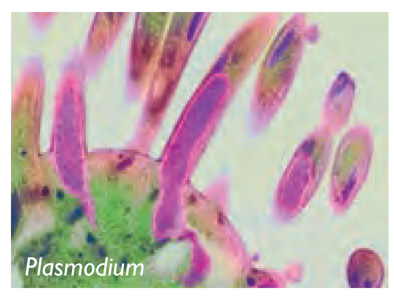
Como se dijo, la reproducción asexual ocurre tanto en organismos unicelulares como en organismos multicelulares. En todos los casos, participa un único organismo, y la descendencia es genéticamente idéntica.

## La reproducción asexual en organismos unicelulares eucariotas

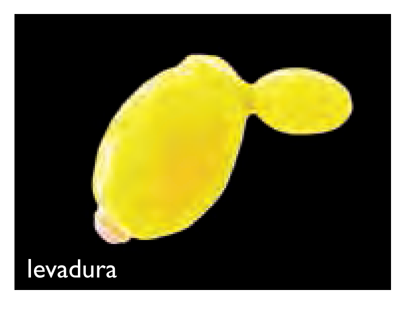
En los organismos unicelulares, existen tres mecanismos diferentes de reproducción asexual: la **fisión binaria** o **bipartición**, la **fisión múltiple** o **esquizogonia** y la **gemación**. Mediante la fisión binaria, las células se dividen en dos partes iguales luego de la mitosis, mientras que en la fisión múltiple, se producen varias mitosis, y cada célula da lugar a varias células hijas. Por último, la gemación ocurre por una división asimétrica del citoplasma después de la mitosis; una de las células hijas se desprende con una pequeña porción de citoplasma, y se la llama gema. Los paramecios y las euglenas, que son algas unicelulares, se reproducen por fisión binaria, mientras que las levaduras, que son hongos unicelulares, se reproducen asexualmente por gemación.




*Los protozoos del género* Giardia *se reproducen por fisión binaria.*




*Los parásitos unicelulares que causan la malaria, del género* Plasmodium, *se multiplican por fisión múltiple.*




*Las levaduras se reproducen asexualmente por gemación.*



## La reproducción asexual en organismos multicelulares

La reproducción asexual en organismos multicelulares es un proceso más complejo que en los organismos unicelulares. Es más frecuente en plantas, en algas, en hongos y en animales simples, como las esponjas, las medusas, los gusanos planos y los erizos de mar.

Existen distintos mecanismos de reproducción asexual, que varían de acuerdo con el tipo de organismo. Muchos de estos mecanismos requieren la presencia de células denominadas **totipotentes**, es decir, células capaces de dividirse y dar origen a todos los tejidos del nuevo individuo.

Cabe destacar que los organismos multicelulares que se reproducen asexualmente también lo hacen de forma sexual.

### * La reproducción asexual en plantas

La reproducción asexual en plantas, o propagación vegetativa, ocurre por el desprendimiento natural o artificial de ciertas partes de las plantas, como hojas, tallos o raíces, que pueden crecer y generar nuevos individuos idénticos a la planta original. De acuerdo con la parte de la planta que interviene, la reproducción asexual puede ser de distintos tipos: por estolones, por rizomas, por tubérculos y por bulbos.

Los bulbos son tallos subterráneos que tienen gemas que originan las nuevas plantas; la cebolla se reproduce asexualmente de este modo. Los estolones son tallos que crecen paralelos al suelo y tienen yemas que originan nuevas raíces y hojas; así se propaga la frutilla. Otros tipos de tallos subterráneos son los tubérculos (como las papas) y los rizomas (que tienen los pastos), estos también pueden generar raíces y tallos.

Otras plantas, como los helechos, se reproducen mediante células germinales asexuales o esporas.



*Una de las formas de reproducción asexual en plantas es mediante estolones.*

## La reproducción asexual en animales

Algunos animales se reproducen por gemación o brotación, que se caracteriza por la formación de una yema o brote en el cuerpo del organismo progenitor hasta desarrollarse como un individuo completo idéntico al original. Las hidras, las anémonas y las esponjas pueden reproducirse de esta manera.

Algunos animales se reproducen por fragmentación. El progenitor se divide en dos o más partes, y cada una de ellas origina un nuevo individuo. Las estrellas de mar, las planarias o gusanos planos y las lombrices terrestres pueden reproducirse de este modo.



*En esta imagen se ve una hidra (animal del grupo de las medusas) que se está reproduciendo por gemación.*

La partenogénesis es un tipo particular de reproducción asexual en animales en la que intervienen células sexuales, pero únicamente del sexo femenino. Un óvulo no fecundado se divide por mitosis, y origina un nuevo organismo, sin haberse unido con un espermatozoide. Este tipo de reproducción puede ocurrir en insectos, crustáceos, anfibios, reptiles y en ocasiones, en algunos peces y aves. En las abejas, por ejemplo, si los óvulos se dividen por partenogénesis, generan un individuo con un solo juego de cromosomas, y de sexo masculino, mientras que si ocurre la fecundación, se genera un organismo con doble juego de cromosomas y de sexo femenino.



### ESTUDIO DE CASO

Existe una especie de lagartijas, las *Aspidoscelis rodecki*, cuyas poblaciones están integradas solo por hembras y se reproducen por partenogénesis.

» Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué características en común tienen todas las formas de reproducción asexual?
2. ¿Qué características en común tienen los distintos mecanismos de reproducción asexual en plantas y animales (organismos multicelulares)? ¿Podrían ocurrir en ausencia de células totipotentes?
3. ¿Por qué la partenogénesis puede ser considerada una forma de reproducción asexual, si en ella interviene un gameto?



# ¿Qué es la clonación?

La reproducción asexual da origen a descendientes que son idénticos entre sí (en apariencia y en cuanto a la información genética), es decir, **clones**.

En organismos complejos, como los mamíferos, existen casos de clones naturales, como los gemelos idénticos que se desarrollan a partir de un mismo cigoto que se generó por reproducción sexual.

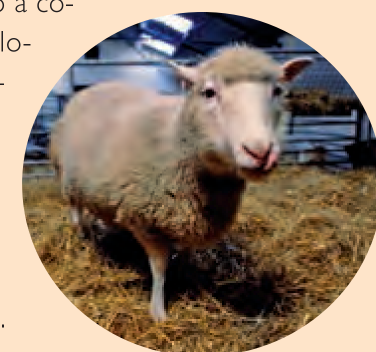
La clonación artificial es una práctica humana aplicada a la reproducción de varios animales. Si bien las primeras clonaciones de animales se realizaron con anfibios en 1952, fue recién en 1996 que se logró clonar un mamífero de forma artificial. Ocurrió en el Instituto Roslin de Edinburgo, Gran Bretaña. Mediante una técnica costosa y compleja, se obtuvo un clon de una oveja, a la que se llamó Dolly.

La clonación de Dolly se realizó mediante una técnica llamada **transferencia nuclear**. Consiste en retirar el núcleo de un óvulo de un individuo (célula receptora) y reemplazarlo con el núcleo de una célula adulta de otra oveja que, en este caso, se sacó de la ubre (célula donante). Luego, se estimula el óvulo con el nuevo núcleo, y este comienza a dividirse y forma un embrión que se implanta en el útero de una tercera oveja. Luego de 148 días, nació la oveja Dolly, cuya información genética era exactamente idéntica a la de la célula donante.

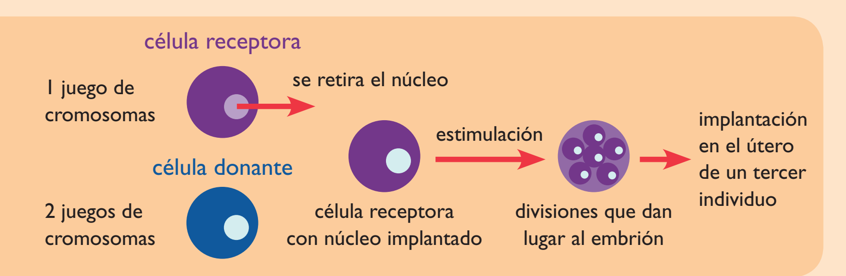
Luego de Dolly, se clonaron muchos otros mamíferos, como ratones, cerdos, conejos, caballos, gatos, ciervos, toros y vacas, con fines de investigación, y en algunos casos con fines comerciales. En la Argentina un laboratorio comercial logró clonar por primera vez una vaca en 2002, y la llamó Pampa.

Uno de los principales propósitos de la clonación de animales es el de reproducir animales que tienen una característica genética especial. Por ejemplo, animales capaces de producir proteínas humanas a partir de procedimientos que alteraron la información genética de los animales (transgénicos). En la Argentina, el desarrollo de la primera vaca clonada dio origen a la llamada Dinastía Pampa, que incluye ejemplares transgénicos capaces de producir la hormona de crecimiento humana, por ejemplo. Estos animales posibilitan la producción de medicamentos a menor costo.

Varias aplicaciones de la clonación están en vías de desarrollo. Además de los fines médicos, la clonación de animales se aplica en especies en peligro de extinción que no pueden vivir en cautiverio, para evitar su desaparición total. Otra es la clonación de especies extintas. En 2012, un equipo de investigación ruso dio a conocer un plan para clonar un mamut congelado de 10.000 años de antigüedad, usando óvulos de elefantes, e implantando el embrión también dentro de un elefante.








*En la clonación de Dolly, participaron tres ovejas: de una se extrajo el óvulo, de otra se extrajo el núcleo donante, y la tercera actuó como madre sustituta, en la que se llevó a cabo la gestación.*

1. ¿Por qué la clonación es un tipo de reproducción asexual?
2. ¿A qué progenitor era idéntico Dolly y por qué?
3. Expliquen cuál es su opinión acerca de la clonación de especies en vías de extinción o extintas. (Tengan en cuenta los mecanismos evolutivos vistos en capítulos anteriores).

» Relación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente.

## La reproducción sexual en organismos multicelulares

Si bien muchos organismos unicelulares se reproducen de forma sexual (por la unión de dos células de distinta polaridad), a continuación se estudiará este tipo de reproducción en algunos organismos multicelulares.

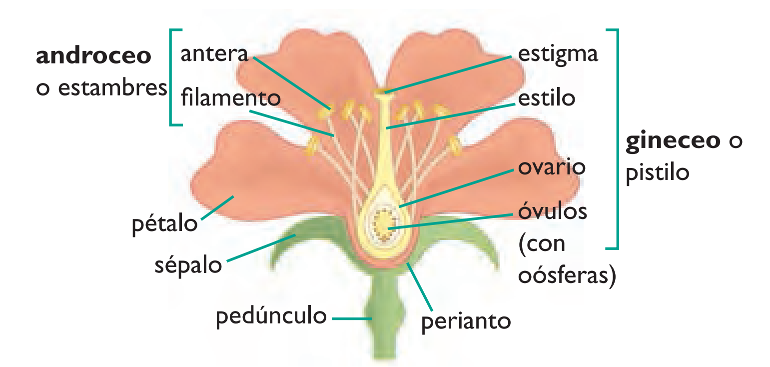
### Reproducción sexual de las plantas

Muchas plantas, que no tienen flores, como los helechos y los musgos, tienen ciclos de vida muy complejos en los que algunas generaciones se reproducen de forma sexual y otras, de forma asexual. En estos casos, al germinar las esporas, pueden dar origen a individuos femeninos o masculinos (o que tengan partes femeninas y otras masculinas). Estos individuos producen gametos de uno y otro sexo, que se unen y dan origen a individuos, que se reproducen asexualmente mediante esporas, y el ciclo vuelve a empezar.

En las plantas con flor, la reproducción sexual tiene lugar en estos órganos, las flores.

Los órganos masculinos de las flores son los **estambres** (u **androceo**), donde se produce el polen, que contiene los gametos masculinos. El órgano femenino se llama **pistilo** (o **gineceo**) y, en su interior, se encuentran los óvulos que, en este caso, no son los gametos, sino las estructuras que los contienen. Los gametos son las oósferas. Los granos de polen llegan por distintos medios (viento, agua, animales) hasta el pistilo y así, se realiza la polinización. En el pistilo, el grano de polen desarrolla un tubo largo que llega hasta los óvulos, por el tubo llegan los gametos masculinos, y fecundan al óvulo.

En las plantas gimnospermas (con semillas "desnudas"), las flores masculinas y femeninas suelen estar en la misma planta. En las plantas angiospermas (semillas dentro de frutos), las flores suelen ser hermafroditas. Si la polinización ocurre entre las estructuras de una misma flor, se llama **directa**, y si el polen de una flor llega a la parte femenina de otra flor, se llama **polinización cruzada**. Esta última es más frecuente, y le aporta a la especie mayor variabilidad.




*Esquema de las partes de una flor hermafrodita en una planta angiosperma.*






CIENCIAS **EN LA NET**

Visiten el siguiente sitio, y observen las animaciones sobre la reproducción sexual en plantas gimnospermas y angiospermas:

http://goo.gl/Q1VSxh.

Luego, realicen un cuadro comparativo entre ambos procesos.

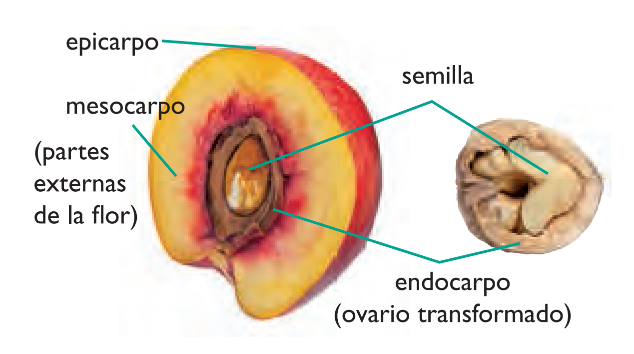
›› Uso de TIC en el análisis de modelos científicos.

ACTIVIDADES

1. ¿Por qué la descendencia que resulta de la reproducción sexual no es igual que sus progenitores?

## El desarrollo en las plantas angiospermas

La fecundación de los óvulos da origen a las **semillas**. Las semillas poseen un **embrión**, una sustancia de reserva alimenticia y una cubierta protectora. Cuando se produce la fecundación, el ovario crece y se transforma en el **fruto** que alberga a la semilla. Los frutos permiten la dispersión de las semillas, ya sea porque son ingeridos por animales o transportados por el viento. Cuando las semillas se encuentran en condiciones favorables, ocurre la **germinación**, el embrión crece y se forma la nueva planta.




*En las angiospermas, las semillas se encuentran dentro de frutos como el durazno, o la nuez. Al cosechar las nueces, el mesocarpo y el epicarpo quedan en la planta.*

## La reproducción sexual en los animales

En los animales, al igual que en las plantas, los gametos se producen en órganos llamados **gónadas**. Los gametos masculinos o espermatozoides se producen en los testículos del macho, y los gametos femeninos u óvulos, en los ovarios de las hembras. En algunas especies, los individuos poseen un solo sexo, y en otras, los individuos poseen estructuras de ambos sexos, es decir, son hermafroditas.

En las especies en las que la unión de los gametos o fecundación es **externa**, tanto hembras como machos liberan grandes cantidades de gametos al medio externo, que por lo general es acuoso, y estos se encuentran. Este tipo de fecundación la realizan muchos peces óseos, los anfibios y diversos invertebrados acuáticos, como los cnidarios, los bivalvos y los equinodermos. Si la fecundación es **interna**, los gametos se encuentran dentro del cuerpo de la hembra. Este tipo de fecundación se presenta en los amniotas (reptiles, aves y mamíferos); en los tiburones y en otros peces cartilaginosos; en los insectos, en los caracoles y en los calamares. En muchos de estos casos, los machos poseen órganos copuladores que facilitan introducir los gametos dentro del sistema reproductor femenino. En los animales hermafroditas, pese a que poseen las estructuras de los dos sexos, es muy poco frecuente la autofecundación, es decir, la combinación de los gametos femeninos y masculinos del mismo individuo. Por lo general, los gametos de cada sexo se producen en momentos distintos, y se combinan con gametos de otros individuos.



*Los anfibios tienen fecundación externa; sin embargo, realizan un amplexo, en el que el macho "abraza" a la hembra para estimularla a depositar los huevos, y estos son fecundados a medida que salen.*

## Las ideas sobre la reproducción en la historia

A lo largo de la historia, se plantearon diversas teorías acerca de la forma en la se generan los nuevos seres vivos. El filósofo griego Aristóteles (siglo III a. C) pensaba que los órganos y las estructuras de los nuevos individuos se formaban a partir de materiales sin forma. Esta teoría se conoce con el nombre de **epigénesis**.

La teoría que se contraponía a la epigénesis era la de la **preformación**, según la cual los seres vivos ya estaban previamente formados en miniatura dentro del cuerpo masculino o femenino. La reproducción únicamente cumpliría la función de activar el crecimiento. Con la invención del microscopio a fines del siglo XVI, se descubrieron los gametos. Los preformacionistas propusieron que dentro de los gametos estaba el ser vivo íntegro previamente formado; los animalculistas sostenían que estaba dentro de los espermatozoides, mientras los ovistas planteaban que estaba dentro de los óvulos.

Lázaro Spallanzani realizó un experimento de fecundación artificial con perros, en 1786, mediante el cual puso a prueba la teoría de la preformación.



### EXPERIMENTOS EN PAPEL

**¿Cómo se desarrollan los nuevos seres?**

HIPÓTESIS: los gametos (femenino o masculino) tienen en su interior un ser vivo entero en miniatura que se activa con la fecundación, y cuando se desarrolla aumenta de tamaño.

PREDICCIÓN: si los seres vivos están previamente formados en alguno de los gametos, deberán parecerse únicamente a uno de los progenitores, según el gameto en el que se encuentren.

PROCEDIMIENTO: Lázaro Spallanzani mantuvo encerrada a una perra hasta que entró en el período de celo. Luego, consiguió semen de un perro, y se lo introdujo a la perra de manera artificial, con el uso de una jeringa. De este modo se aseguró de dónde provenían los dos gametos.

RESULTADOS: la perra quedó embarazada, y luego de sesenta y dos días, parió tres perritos que por su forma y pelaje no se parecían solo a ella, sino también al perro que aportó el semen.

CONCLUSIONES: los nuevos perritos que nacieron no estaban previamente formados ni en los gametos de la perra, ni en los gametos del perro.

*Los nuevos perros se parecían a los dos progenitores.*

Actualmente, se conocen con gran profundidad las distintas etapas de la reproducción sexual de los seres vivos y se corresponden con los resultados del experimento de Spallanzani: las características de los individuos generados sexualmente son una combinación de las características de ambos progenitores. Esto sucede porque en el cigoto, se combina la información genética de las dos gametos.



*Según planteaba la preformación, los seres vivos estaban ya formados dentro de los gametos.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué características generales tiene la reproducción sexual en todos los seres vivos?

2. ¿A qué medio están adaptados los animales con fecundación externa? ¿En qué consiste esta adaptación?

## El desarrollo embrionario en los animales

Luego de la fecundación, ya sea externa o interna, se forma la primera célula del nuevo ser vivo, el cigoto, que comienza a dividirse y da origen al embrión. El embrión sigue un proceso complejo llamado **desarrollo embrionario**, en el que sus células no solo se dividen, sino que se diferencian y se especializan, conformando tejidos, órganos y sistemas de órganos. El desarrollo embrionario puede ser interno o externo, dependiendo de los distintos grupos de animales.

Una forma de clasificar a los animales es a partir del tipo de fecundación y del desarrollo embrionario.

Los animales **ovulíparos** tienen fecundación externa. El desarrollo del embrión también es externo. El huevo que se genera luego de la fecundación no tiene una cubierta protectora, pero tiene los nutrientes que el embrión necesita. La mayoría de los peces óseos, las estrellas y erizos de mar, las medusas, los corales, muchos crustáceos y los anfibios pertenecen a este grupo.

Los animales **ovíparos** tienen fecundación interna, pero el desarrollo del embrión es externo, dentro de un huevo que la hembra libera al exterior. Estos huevos, además de estructuras que nutren al embrión, tienen un cascarón que los protege de la deshidratación y de los golpes. Los insectos, algunos tiburones, las aves y los reptiles son ovíparos. También son ovíparos los ornitorrincos y los equidnas, que son mamíferos.

Los **ovovivíparos** son animales con fecundación interna, en los que el embrión se desarrolla en un huevo que la madre retiene dentro de su organismo. Allí, al terminar el desarrollo, el huevo se abre y sale la cría, que luego se separa del cuerpo de la hembra. Ciertos tiburones, algunos peces óseos, algunos anfibios y algunas serpientes y lagartos son ovovivíparos.

En los animales **vivíparos**, la fecundación y el desarrollo embrionario ocurren dentro del cuerpo de la hembra. El embrión se desarrolla dentro un órgano del sistema reproductor femenino y obtiene los nutrientes a través de estructuras presentes en este órgano. La mayoría de los mamíferos son vivíparos.

Durante el desarrollo embrionario, algunas células del embrión dan origen a tejidos y estructuras que lo protegen, lo sostienen y lo nutren, pero que no formarán parte del individuo una vez que termine su desarrollo. Estas formaciones se llaman **anexos embrionarios**, y sus características varían de acuerdo con el tipo de desarrollo.

Los embriones de los animales ovulíparos desarrollan una **vesícula umbilical** o **saco vitelino**, que se ubica en la región ventral y contiene reservas nutritivas para alimentar al embrión durante los primeros tiempos.

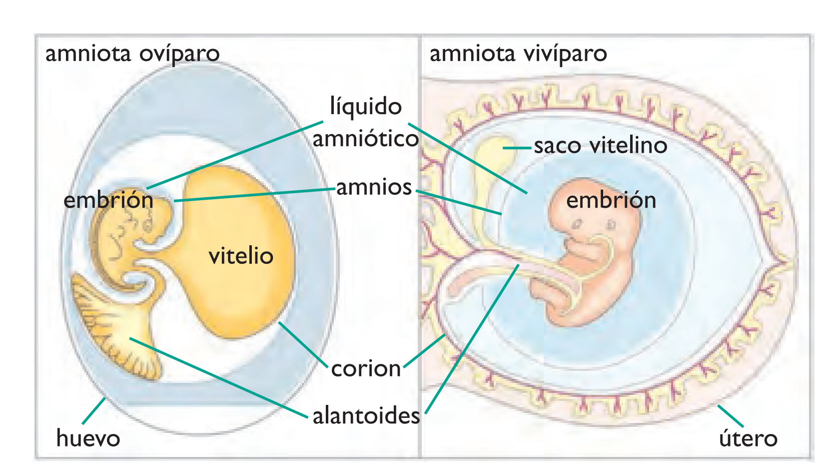
Los embriones de otros vertebrados (reptiles, aves y mamíferos), tanto ovíparos, ovovivíparos o vivíparos, además del saco vitelino, poseen otras estructuras llamadas **corion**, **amnios** y **alantoides**, cada una de las cuales cumple una función específica, y juntas permiten que el embrión se desarrolle en un medio terrestre.

## Los amniotas

Los animales que tienen corion, amnios y alantoides se consideran dentro del grupo de los amniotas. La presencia de estas estructuras es una adaptación al medio aeroterrestre que a la vez permitió la diversificación de los vertebrados en este medio. En los huevos de los reptiles y de las aves, el embrión se alimenta exclusivamente de los nutrientes del vitelio, sustancia presente en el saco vitelino. El amnios es la envoltura que rodea al embrión. Entre el amnios y el embrión, hay una cavidad llena de una solución llamada líquido amniótico, que protege al embrión del efecto de los movimientos y golpes. El corion es la envoltura más externa; está en contacto con la superficie interna de la cáscara, y evita la evaporación excesiva de agua. El alantoides se ubica entre el amnios y el corion, y cumple funciones de nutrición, incluida la excreción.

En la mayoría de los mamíferos vivíparos, el corion está conectado a la pared del útero y juntos forman la **placenta**, que cumple la función de nutrición que representa el vitelio en aves y reptiles. El alantoides se extiende debajo del corion y participa en el intercambio gaseoso entre la madre y el embrión y, junto con el saco vitelino, conforma el cordón umbilical. El amnios rodea al embrión, y determina una cavidad llena de líquido amniótico en el que se desarrolla y crece el nuevo individuo, al igual que en aves y en reptiles.

Los **marsupiales** son mamíferos en los que no se forma placenta. El desarrollo del embrión dentro del útero se lleva a cabo en un lapso breve, la cría nace, trepa hasta una bolsa de piel llamada marsupio y allí, continúa su desarrollo unido a las glándulas mamarias.




*En los amniotas están presentes ciertas estructuras que permiten el desarrollo embrionario en ambientes aeroterrestres. La similitudes de los amniotas indican que están emparentados filogenéticamente.*

## El desarrollo después del nacimiento

Algunos animales tienen desarrollo directo: el individuo recién nacido es similar al adulto. Este tipo de desarrollo está presente en casi todos los peces, los reptiles, las aves y los mamíferos.

Otros animales tienen desarrollo indirecto: el individuo recién nacido es muy diferente al individuo adulto. La cría recibe el nombre de larva. En un momento del desarrollo, las larvas sufren un proceso complejo de cambios llamado **metamorfosis**, luego del que adquieren la forma, el aspecto y las características del adulto. Este tipo de desarrollo se presenta en los anfibios y en muchos insectos.



*En los anfibios, la metamorfosis implica cambios muy importantes que significan el paso de la vida acuática de la larva a la vida terrestre del adulto.*

### ACTIVIDADES

**1.** ¿Cómo relacionan el tipo de fecundación y el desarrollo embrionario con el medio en el que vive un animal?

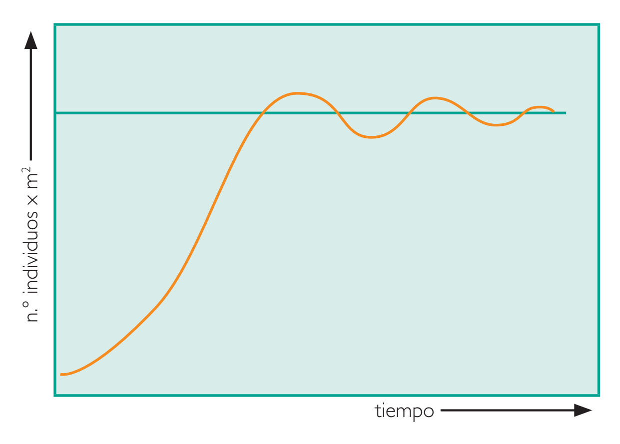
**2.** ¿Cuál fue el principal cambio evolutivo que distingue a los peces y anfibios de las aves, reptiles y mamíferos? ¿Qué implicancias tuvo este cambio?

# La reproducción en el ecosistema

Más allá del tipo de reproducción, de fecundación y de desarrollo, las condiciones dentro de un ecosistema determinan cuán favorable o desfavorable es la reproducción de una especie y, en consecuencia, cómo será el crecimiento de dicha población.

Si en el ecosistema los recursos son muy abundantes, si no hay depredadores o si el espacio es suficiente, las condiciones para la reproducción son ideales. La población se va a reproducir y crecer con una velocidad constante de tipo exponencial: cada individuo dará una determinada cantidad de crías, y cada una de ellas tendrá una cantidad de crías, y así sucesivamente se irá multiplicando la cantidad de individuos de la población.

Estas condiciones cambian a medida que crece la población, ya que los recursos empiezan a ser más limitados, comienza a haber competencia y aparecen predadores atraídos por la abundancia de presas. La población llega entonces a un punto en el que ya no puede crecer más, y la cantidad de individuos es relativamente estable.



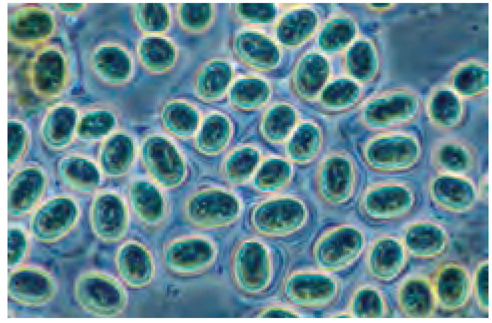

*El crecimiento de una población al principio es exponencial pero, a medida que aumenta su tamaño, la velocidad de crecimiento disminuye hasta que se llega a un número constante de individuos por m².*

## Estrategias reproductivas r y K

De acuerdo con ciertas características relacionadas con la reproducción y el crecimiento de las poblaciones, pueden distinguirse dos patrones bien diferenciados conocidos como estrategia *r* o estrategia *K*. Estos son dos parámetros que rigen la dinámica de las poblaciones en un ecosistema: *r* es la tasa de crecimiento, y *K* es la capacidad de carga (el número máximo de individuos por área que admite el ecosistema).

Los seres vivos que tienen una **estrategia *r*** suelen ser de tamaño pequeño. Tienen un tiempo de vida breve, de menos de 1 año, con desarrollo veloz y rápida adquisición de madurez sexual. Tienen alta tasa de natalidad, es decir, tienen muchos descendientes por camada. No proporcionan cuidado a sus crías, por lo que la tasa de mortalidad también es muy alta. A menudo son especies que colonizan nuevos espacios o que viven en ambientes inestables, y el tamaño de la población es variable. Los roedores, los sapos, los insectos, los hongos, las plantas que se reproducen por esporas y las bacterias son seres vivos que se corresponden con una estrategia r.





*Las ranas y las bacterias son especies cuyas poblaciones siguen una estrategia r.*

Los seres vivos que tienen una **estrategia K** tienen poblaciones con un tiempo de vida prolongado, con períodos de desarrollo largos y lenta adquisición de la madurez sexual. En contraste con los estrategas r, tienen baja natalidad, es decir, muy pocos descendientes por camada, pero proporcionan gran cuidado a sus crías, motivo por el cual su probabilidad de supervivencia es alta, y la tasa de mortalidad es baja. Por lo general, son organismos de mayor tamaño que los estrategas r, y suelen localizarse en hábitats maduros (por ejemplo, las etapas finales de un ecosistema, como una selva o un arrecife de coral), y el tamaño de la población suele ser constante. Muchas aves y mamíferos, entre los que se encuentra el ser humano, responden a esta estrategia.

Debido a su estrecha relación con las condiciones del hábitat en las que se desarrollan, su poca capacidad de soportar cambios en dichas condiciones y su baja velocidad de reproducción, las especies en peligro de extinción suelen tener una estrategia de tipo K.

Cabe destacar que estas categorías corresponden a dos situaciones extremas, y que la mayoría de los seres vivos poseen estrategias intermedias.

| | Estrategia r | Estrategia K |
|---|---|---|
| Tiempo de vida | Corto. Por lo general menos de un año. | Largo. Por lo general más de un año. |
| Tamaño | Pequeño. | Grande. |
| Tasa de natalidad | Elevada. | Baja. |
| Cantidad de crías por individuo | Muchas. | Pocas. |
| Tasa de mortalidad | Elevada. | Baja. |
| Cuidado de las crías por parte de los progenitores | Nulo. | Importante. |
| Madurez sexual | Veloz. | Lenta. |
| Tamaño de la población | Variable. | Estable. |
| Características del hábitat | Inestable, variable. | Estable, maduro. |

Es posible encontrar una vinculación entre las estrategias reproductivas de las poblaciones con el tipo de reproducción, fecundación y desarrollo.

Por lo general, la reproducción asexual (más sencilla y rápida e independiente del encuentro entre dos individuos) se asocia con una estrategia r. Lo mismo ocurre con la reproducción sexual de especies ovulíparas, que suelen liberar una gran cantidad de gametos al medio, donde ocurre la fecundación y se forman muchos embriones. Sin embargo, la chance de supervivencia de estos huevos es muy baja, porque no tienen ningún tipo de cuidado de los progenitores y son muy vulnerables a los cambios del ambiente y al ataque de los predadores.

Los animales que tienen fecundación interna tienen mayor probabilidad de encuentro entre los gametos. Si el desarrollo es interno, como sucede con los ovovivíparos y vivíparos, la probabilidad de supervivencia es mucho mayor aún, ya que los embriones están en condiciones de máximo cuidado, dentro del cuerpo materno. Por este motivo, la mayor parte de los mamíferos responden a una estrategia de tipo K.

*Los elefantes son animales que responden a una estrategia K. Tienen una sola cría, que tarda 22 meses en desarrollarse, en intervalos de aproximadamente cuatro años.*

## ACTIVIDADES

**1. Decidan si los siguientes enunciados son verdaderos o falsos. Justifiquen su respuesta.**

**a.** Cuanto mayor es el cuidado de las crías, menor es la mortalidad.

**b.** Los seres vivos que siguen una estrategia r tienen poblaciones que alcanzan situaciones estables.

**c.** Las crías de los estrategas K están menos propensas a ser atacadas durante el desarrollo embrionario o luego del nacimiento.

**2. ¿Se puede decir que alguna de las estrategias —r o K— es "mejor"? ¿Por qué?**

## La reproducción y el cortejo

En muchos animales, la reproducción está acompañada por un **cortejo**, que consiste en comportamientos que favorecen el encuentro sexual. El cortejo puede realizarse a través de exhibición de partes del cuerpo, emisión de sonidos o aromas llamativos, o realización de movimientos especiales, que llaman la atención del individuo del sexo opuesto y aumentan su motivación sexual. Tanto machos como hembras participan en el ritual del cortejo, luego del cual copulan o liberan los gametos al exterior, de acuerdo con el tipo de fecundación que tengan.

En la mayoría de los casos, el macho es quien realiza la mayor cantidad de acciones, y la hembra es la que elige. Muchas veces, además, el cortejo implica competencia entre los machos de la especie. El macho ganador se convierte en dominante y tiene exclusividad sobre varias hembras, como sucede con los elefantes marinos.

En los peces, las señales corporales pueden relacionarse con cambios de colores, movimientos de giro y aleteos. En la mayoría de los anfibios, los machos emiten sonidos, pero también existen cortejos relacionados con movimientos corporales, como los de las ranas doradas de Panamá, que apuntan sus manos en cierta dirección. En los reptiles, el cortejo se relaciona con la emisión de sonidos y con cambios de color de penachos, crestas o sectores del cuerpo.

En las aves, el cortejo se relaciona con movimientos rítmicos y con picoteos o con plumajes vistosos. Los despliegues más llamativos son los de las aves del paraíso y los pavos reales: los machos tienen adornos imponentes que atraen a las hembras. Otro ejemplo es el de los pájaros jardineros, que construyen nidos con toda clase de objetos con los que atraen a la pareja.

El cortejo también se relaciona con la emisión de **feromonas**, que son hormonas secretadas por un individuo que tienen efecto en otro individuo, generalmente del sexo opuesto.



*En los elefantes marinos, se observan luchas entre los machos. Estas exhibiciones de fuerza determinan la cantidad de hembras a las que tendrá acceso cada macho.*



*Entre los reptiles (como esta iguana marina) y las aves, es muy común la exhibición de colores por parte de los machos. Los machos de esta especie adquieren colores brillantes durante la temporada de apareamiento.*

**ESTUDIO** DE CASO



### Un caso curioso de cortejo

Las lagartijas *Aspidoscelis rodecki*, que se reproducen por partenogénesis, están compuestas casi enteramente por hembras, como se dijo antes. Si bien estos reptiles se reproducen de forma asexual, en estas hembras se observa cortejo. Algunos individuos presentan el comportamiento típico de los machos de otras especies y cortejan a las otras hembras. Esta acción parecería desencadenar un proceso hormonal que culmina con la ovulación de las hembras cortejadas, lo que favorece la reproducción de esta especie.

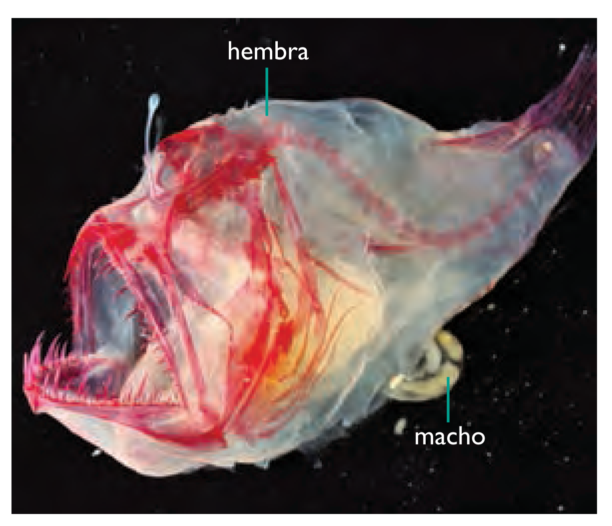
» Describir y explicar fenómenos biológicos a partir de teorías y observaciones personales.

## El dimorfismo sexual y la reproducción

Cuando machos y hembras son fácilmente diferenciables en una especie, se dice que existe **dimorfismo sexual**. En algunos casos, los machos tienen estructuras llamativas, emiten sonidos estridentes o aromas fáciles de percibir. Se podría pensar que estas características los hacen vulnerables frente a predadores. Pero aportan una ventaja adaptativa asociada a la obtención de pareja durante el cortejo y, en consecuencia, al éxito reproductivo.

Las especies monógamas, es decir, las que forman pareja con un solo individuo del otro sexo, no suelen presentar dimorfismo sexual marcado. Tal es el caso de aves, como los pingüinos, las cotorras y los ruiseñores.

En algunos casos, el macho es de menor tamaño que la hembra, esto se observa mucho en los anfibios, en especial en las ranas y sapos que realizan el amplexo. Este tipo de dimorfismo puede tener que ver con que la hembra carga al macho durante mucho tiempo en la época reproductiva. Machos muy grandes podrían ser rechazados, por lo tanto, tendrían menor probabilidad de dejar descendencia.




*En los peces de las profundidades* Melanocetus johnsonii, *se observa un dimorfismo sexual extremo. El macho es mucho más pequeño y vive unido a la hembra. Esta le proporciona nutrientes a través de su sangre, y el macho le proporciona esperma.*

## La reproducción desde una perspectiva evolutiva

Pese a que la reproducción sexual tiene un costo energético muy alto, es claro que parece haber sido un rasgo seleccionado y mantenido a lo largo de la historia de la vida en la Tierra.

Lo cierto es que los individuos de una población generados a través de la reproducción sexual son todos diferentes y, por lo tanto, existen más chances de que, frente a cambios en el ambiente, alguno resista las nuevas condiciones y sobreviva. Por otro lado, la generación de variabilidad genética también permite la aparición de combinaciones que pueden ser más ventajosas en términos adaptativos. Por todo esto, la reproducción sexual es fuente de diversidad biológica a varios niveles.

La reproducción asexual, en cambio, requiere menos costo energético, pero genera organismos idénticos a los progenitores, que son más susceptibles a los cambios del ambiente. Para ciertas especies y en determinadas condiciones, no obstante, resulta más ventajosa este tipo de reproducción, como sucede con las bacterias cuando colonizan un ambiente. Estas especies, sin embargo, generan variabilidad en la población mediante otros mecanismos, como la conjugación.

**ESTUDIO** DE CASO 

En el comienzo del capítulo, se plantea que para la ciencia la reproducción sexual es una especie de paradoja. Expliquen por qué se la puede considerar de ese modo.

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

ACTIVIDADES

1. ¿De qué forma se relaciona el dimorfismo sexual con el cortejo y la reproducción?

2. Piensen en un animal propio del sitio donde viven —o en su defecto, en su mascota—. Averigüen qué características tiene respecto de la reproducción, el dimorfismo sexual y el cortejo.

## Reproducción y coevolución

La coevolución es un proceso de evolución conjunta que ocurre entre dos tipos de organismos durante millones de años. Es el resultado de un carácter adaptativo que ha sido seleccionado por la influencia mutua que se da entre dos especies a través de algún tipo de relación, como por ejemplo la polinización, la simbiosis o el parasitismo, la predación, entre otros. La coevolución de dos especies implica que los cambios evolutivos sobre una especie condicionen e influyan sobre el desarrollo evolutivo de la otra, y viceversa.



Los colibríes actúan como agentes polinizadores. Las flores que son polinizadas por ellos suelen tener forma tubular, y poseen mucho néctar. Existe una estrecha relación entre la forma de la flor y la forma del pico del ave.

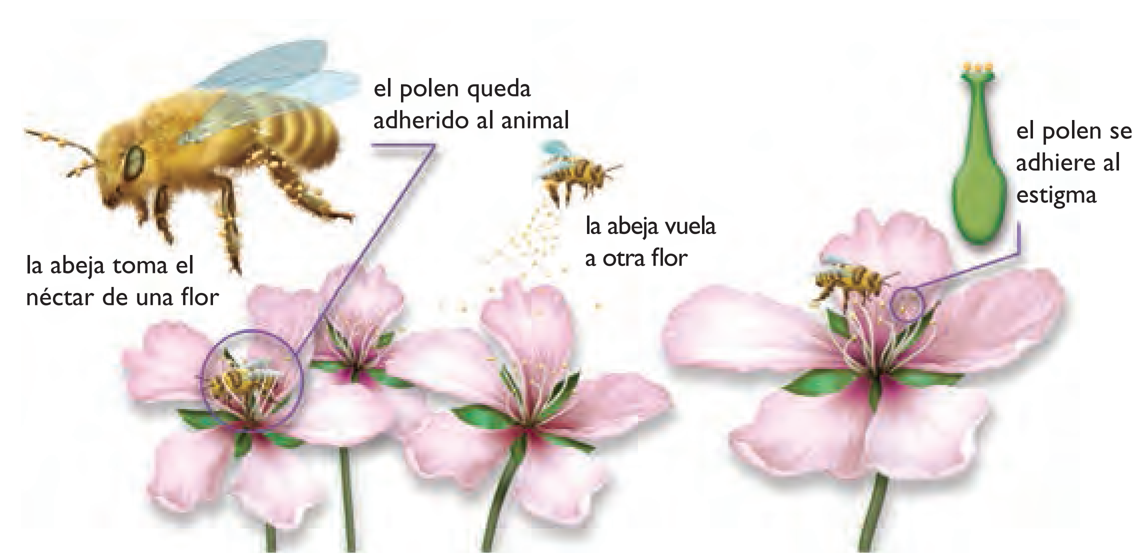
Un ejemplo de coevolución que involucra a muchas especies es la que se dio entre las plantas angiospermas y los animales polinizadores. Existe una estrecha relación entre el aspecto y la estructura de las flores y las características del animal que cumple la función de agente polinizador.

La coevolución entre las plantas con flor y los animales polinizadores respondió a un beneficio mutuo; por un lado, los animales les ofrecen a las plantas la oportunidad de lograr, con poco gasto energético y de materiales, su reproducción efectiva; por otro lado, las flores ofrecen alimento a los animales, en algunos casos de forma casi exclusiva. Se han seleccionado, en ambos grupos de organismos, características que favorecen su interacción, como la forma de los animales en relación con la de la flor, y el color y aroma de las flores que los atrae.

Solo el 10% de las plantas con flor son polinizadas por acción de factores físicos, como el aire o el agua. El 90% restante de las angiospermas ha coevolucionado con animales para su polinización, y el 75% de este tipo de plantas depende específicamente de los insectos. Según el tipo de animal que actúe como agente polinizador, las flores tienen una forma y un color determinados. Las mariposas, por ejemplo, parecen elegir flores rojas y amarillas.



Algunas especies de insectos lepidópteros (como las polillas y las mariposas) han coevolucionado de forma tal que tienen estructuras muy especializadas para obtener el néctar de las flores de las que se alimentan.




Las abejas modernas contribuyeron a la diseminación de las angiospermas y mejoraron las características de la polinización, sin destruir piezas florales importantes. En la actualidad, las abejas son los polinizadores más importantes (casi un 60% de las angiospermas se poliniza por alguna especie de abejas, al menos parcialmente).

Los escarabajos actúan como agentes polinizadores, pero comen los pétalos y muchas veces también los estambres y los carpelos, las hojas fértiles de la flor. Existe una teoría que propone que la predación de estos insectos actuó como un factor de selección, a través del cual fueron seleccionadas las flores que ocultaron sus óvulos en la cavidad del ovario, y ofrecieron una sustancia dulce y nutritiva llamada néctar, y una fracción de polen como alimento a los polinizadores; esto evitó que se comieran las partes vitales. La mayoría de las angiospermas más primitivas, como los nenúfares y las amapolas, son polinizadas por escarabajos.

Hace unos 70 millones de años, aparecieron otros agentes polinizadores, como las mariposas, las moscas y, especialmente, las abejas. Al coevolucionar los sistemas de polinización, se seleccionaron flores que tenían diseños en sus pétalos y colores llamativos que tenían el efecto de atraer y guiar a los insectos hasta el néctar. Muchos de estos diseños solo se ven a la luz ultravioleta, una parte del espectro luminoso en la que ven los insectos.







*Vistas con luz ultravioleta, las flores muestran marcas que indican dónde está el néctar. Estas marcas solo pueden ser vistas por los insectos.*

La floración se sincronizó con los períodos activos de los polinizadores específicos, y la estructura de la flor se hizo cada vez más compleja, de modo tal de asegurar el contacto entre los estambres y el polinizador.

Ciertos procesos coevolutivos fueron tan estrechos que existen plantas e insectos absolutamente dependientes entre sí para sobrevivir. Si la planta se extingue, el insecto también, y viceversa; esto ocurre con muchas orquídeas y sus polinizadores.

En algunos casos, la coevolución de las plantas y su agente polinizador seleccionó flores que imitan la forma y el color de sus agentes polinizadores, y estimulan una ceremonia de cortejo; algunas plantas incluso liberan sustancias similares a las feromonas de los insectos, por lo que los atraen no solo con señales visuales, sino también químicas. Esto ocurre, por ejemplo, con las orquídeas y las abejas.



*Estas orquídeas tienen el aspecto de una abeja, por lo que los insectos las confunden con una posible pareja.*

## ACTIVIDADES

**1.** Averigüen qué características tienen las flores que son polinizadas por cada tipo de agente, incluso por agentes físicos. ¿Cómo se relaciona la forma y el color con la forma de polinización?

**2.** ¿Qué significa que ha habido una coevolución entre los agentes polinizadores y las flores que son polinizadas por ellos?

**3.** Investiguen qué otros casos de coevolución pueden mencionarse que no sean sobre agentes polinizadores y plantas (por ejemplo, en presas y en sus predadores).

# Observación de la reproducción asexual en organismos unicelulares y multicelulares

El objetivo de este taller es llevar a cabo dos experimentos en los que se pongan en evidencia distintos mecanismos de reproducción asexual, en un caso se trata de reproducción asexual en organismos unicelulares, como las levaduras y, en el otro, de reproducción asexual en organismos multicelulares, como las plantas.



*La levadura* Sacharomyces cerevisiae *se consigue en los supermercados.*

**Reproducción asexual en levaduras**

Las levaduras son hongos unicelulares que pueden reproducirse asexualmente por gemación. Es posible conseguir levaduras fácilmente, ya que la especie *Sacharomyces cerevisiae* se utiliza para la fabricación de panes y pizzas.

[**HIPÓTESIS** DEL TALLER] Bajo las condiciones ambientales adecuadas, las levaduras se reproducen de forma asexual rápidamente.

[**PREDICCIÓN**] Si les brindamos la temperatura y los nutrientes adecuados a las levaduras, estas comenzarán a reproducirse rápidamente por gemación.

[**MATERIALES**] Un cubo de levadura prensada fresca * agua tibia * termómetro de laboratorio * azúcar * vaso de precipitados o cualquier recipiente de vidrio bien esterilizado * cucharita * colorante azul de metileno * portaobjetos * cubreobjetos * microscopio óptico * hojas de papel * lápices.

[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Disuelvan un poco de azúcar en agua tibia (entre 28 y 30 °C) y luego, agreguen un poco de levadura hasta que se mezcle con la solución. Revuelvan con la cucharita.

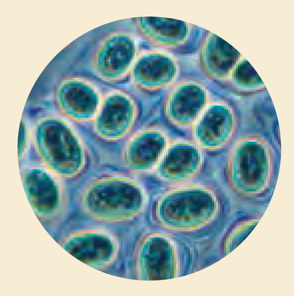
**2.** Tomen muy poco de la mezcla con la punta de la cucharita y colóquenla sobre el portaobjetos.

**3.** Agreguen una gotita de azul de metileno sobre la gota de la mezcla, y luego cúbranla con el cubreobjetos.

**4.** Observen al microscopio en distintos aumentos, y dibujen lo que observan.

[**RESULTADOS**]

Un grupo de chicos tuvo acceso a un laboratorio con microscopios de última tecnología y observó algo similar a lo que se ve en la siguiente foto.



[**ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**]

**1.** ¿Se confirmó la hipótesis? ¿Y la predicción?

**2.** ¿Pudieron observar algo similar a lo de la foto? En caso de que no, ¿qué creen que pudo haber pasado en el proceso?

**3.** ¿Qué debe de haber ocurrido previamente con el material genético de las levaduras de la foto en las que se observa un cambio?

**4.** Averigüen si las levaduras se reproducen de algún otro modo.

**5.** ¿Qué creen que hubieran observado si no le hubiesen agregado azúcar a la mezcla? ¿Por qué?

### Reproducción asexual en plantas

Las plantas son organismos multicelulares que se reproducen de forma sexual y asexual. La reproducción asexual, a su vez, puede ser natural o artificial.

[**HIPÓTESIS** DEL TALLER] Las células totipotentes de las plantas están en cualquier parte del organismo.

[**PREDICCIÓN**] Se puede reproducir una planta de forma asexual, a partir de cualquiera de sus partes.

[**MATERIALES**] Un potus * cuchillo afilado * dos botellas de vidrio transparente * agua.

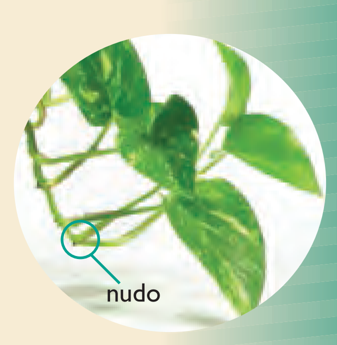
[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Con el cuchillo afilado, corten dos ramas de entre 7 y 15 cm, una de ellas por encima de un nudo, y otra por debajo de un nudo. Pídanle a su docente que los ayude a reconocer los nudos de los tallos.

**2.** Llenen las dos botellas con agua hasta unas ¾ partes de su volumen. Luego, coloquen una rama en cada una de ellas. En caso de ser necesario, retiren algunas hojas de modo que el tallo que quede sumergido esté desnudo.

**3.** Dejen las dos botellas en un lugar luminoso durante dos semanas.

**4.** Observen y tomen nota.




[**ANÁLISIS DE LAS OBSERVACIONES Y CONCLUSIONES**]

**1.** ¿Qué sucedió con las plantas? ¿Crecieron? ¿Mantuvieron su tamaño? ¿Crecieron raíces?

**2.** ¿Hubo alguna diferencia entre las dos ramas?

**3.** ¿Confirmaron su hipótesis? ¿Por qué?

**4.** ¿Qué tipo de células deben tener las ramas para poder crecer y generar tejidos y estructuras nuevas?

**5.** ¿Cómo son, desde el punto de vista genético, las plantas de las botellas y la planta de la cual se sacaron las ramas?

ACTIVIDADES

**1.** ¿Qué diferencia existe entre la reproducción celular en las levaduras y en las plantas? ¿Qué implicancia tiene para el organismo en cada caso?

**2.** ¿Qué tipo de células tienen las levaduras? ¿Y la planta? ¿Qué proceso del ciclo celular tiene lugar durante la reproducción celular en ambos casos?

## ESTUDIO DE CASO



A lo largo de este capítulo, se dieron varios ejemplos de reproducción sexual y asexual en organismos de distintos niveles de organización. En el Estudio de caso del comienzo del capítulo, se menciona el ejemplo de los rotíferos, un grupo de animales microscópicos que surgió hace millones de años, y que se caracteriza por tener una reproducción asexual.

**1.** Expliquen cuáles son las ventajas y las desventajas de los dos tipos de reproducción. Expliquen, en cada caso, si son desventajas y ventajas para los individuos, para las poblaciones, para las comunidades o para la biodiversidad en general.

**2.** ¿Cómo se reproduce una población de reptiles conformada enteramente por hembras? ¿De qué tipo de reproducción se trata? ¿Esta especie siempre se reprodujo de la misma forma?

**3.** Observen las siguientes imágenes.

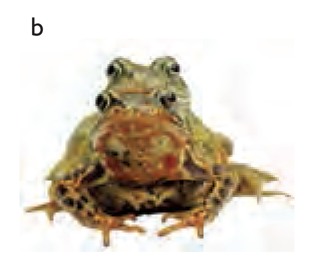
**a.** Indiquen si se relacionan con la reproducción sexual o asexual en plantas o en animales.

**b.** Escriban un pequeño párrafo relacionando la imagen con otros temas trabajados en el capítulo (división celular, tipo de fecundación y desarrollo, estrategias reproductivas, coevolución, etcétera).

a



b



c



d



**4.** Lean las siguientes oraciones.

**a.** A qué tipo de reproducción corresponden las siguientes características: ¿asexual, sexual o ambas? Justifiquen sus respuestas y den ejemplos.

- Los nuevos individuos son genéticamente idénticos a sus progenitores.
- Participan células de dos sexos diferentes.
- Se lleva a cabo en organismos unicelulares.
- Los descendientes provienen de un único individuo.
- Los descendientes se parecen a sus progenitores, pero son genéticamente distintos.
- Genera variabilidad genética en la especie.
- Ocurre el fenómeno de fecundación.
- Está relacionada con una división llamada mitosis.
- Requiere la participación de gametos.
- Ocurre con menor gasto de energía.

**b.** Comparen la reproducción asexual en plantas y en animales. ¿Cuáles son las similitudes y diferencias?

**5.** Completen el siguiente cuadro comparativo entre los distintos tipos de fecundación y desarrollo embrionario en los animales.

| | Ovulíparos | Ovíparos | Ovovivíparos | Vivíparos |
|---|---|---|---|---|
| Tipo de fecundación | | | | |
| ¿Intervienen órganos copuladores? | | | | |
| Probabilidad de supervivencia de los embriones | | | | |
| Membranas extraembrionarias | | | | |
| Ejemplos | | | | |

**6.** Indiquen si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. Justifiquen sus respuestas.

**a.** Todos los animales que ponen huevos son amniotas.

**b.** Las membranas extraembrionarias son una adaptación al medio aeroterrestre.

**c.** Todos los mamíferos son vivíparos.

**d.** Todos los reptiles son ovíparos.

**7.** **Respondan a las siguientes preguntas.**

**a.** Los huevos que nosotros comemos no tienen embriones, ¿se generarán a través de la fecundación? Averigüen cómo se producen, y de qué célula provienen.

**b.** ¿Qué tipo de fecundación y desarrollo tenemos los seres humanos?

**c.** ¿A qué estrategia reproductiva se acerca esta forma de reproducirnos, y por qué?

**d.** ¿Se pueden reproducir asexualmente los seres humanos? Si, como hicieron con Dolly, se lograra clonar un ser humano —en un país donde existieran leyes que lo permitan—, ¿de qué tipo de reproducción se trataría, y qué sucedería con su material genético?

**8.** **Escriban textos breves en los que le expliquen a un compañero lo que saben acerca de los siguientes temas.**

**a.** Existe una relación entre la forma y el color de las flores y el agente polinizador.

**b.** La partenogénesis no necesita la unión de gametos.

**c.** Las plantas y los animales que se reproducen a partir de fragmentos poseen células totipotentes.

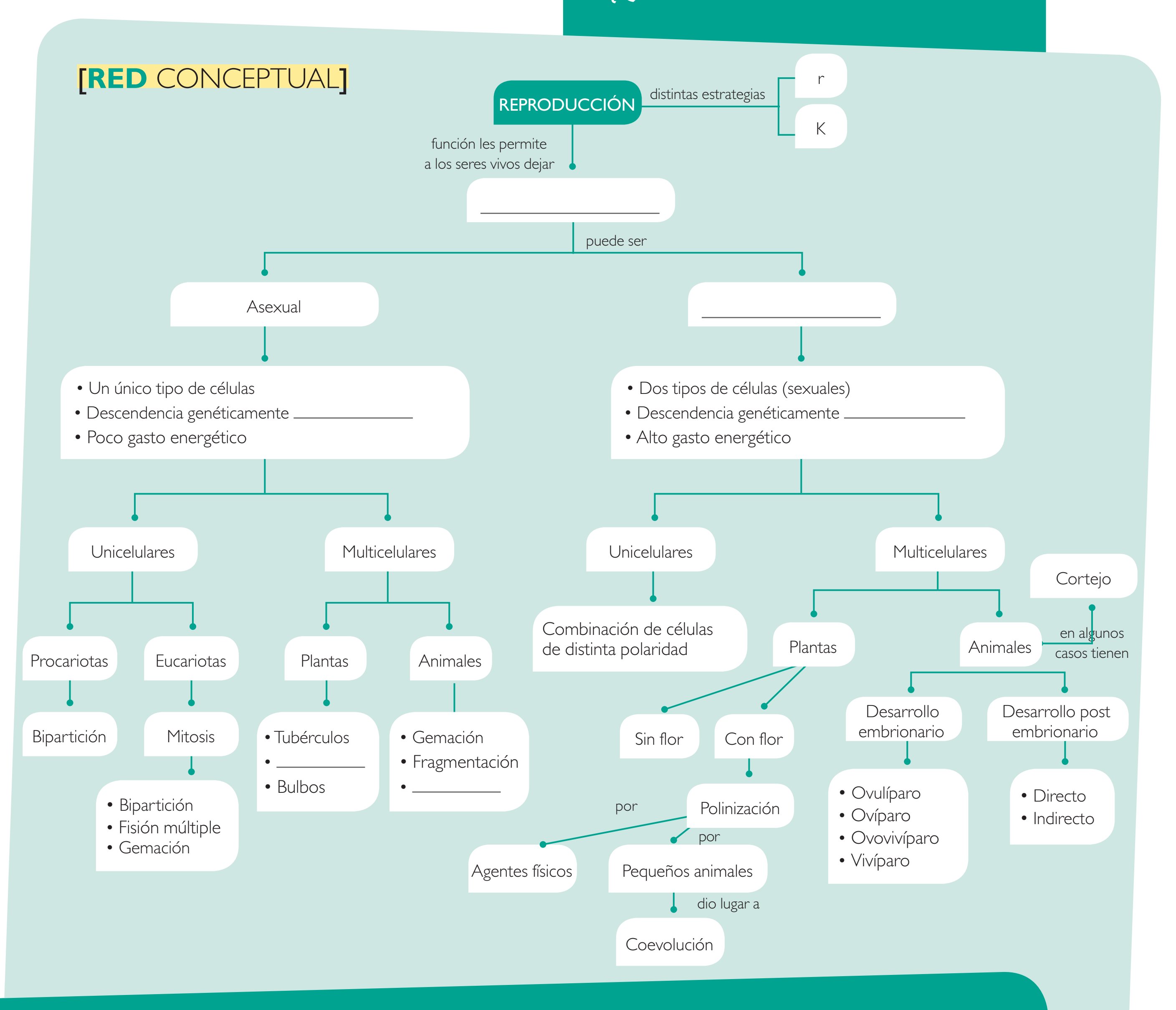
**9.** ¿Qué cosas acerca de la reproducción aprendieron al leer este capítulo?

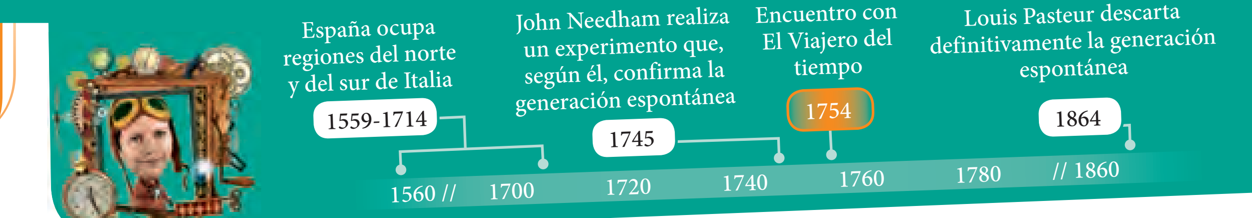
**10.** ¿Hubo algún tema que les haya interesado más que otro? ¿Cuál? ¿Por qué?

**11.** ¿Qué tema les costó más entender? ¿Por qué?

**12.** ¿Qué tema necesitan volver a leer?








*Llegué a la Italia de 1754. Mientras llamaba a la puerta del laboratorio, pensaba en que verdaderamente hay gente excepcional en la historia de la ciencia, como este italiano extraordinario que ayudó a refutar la idea de la generación espontánea, estudió en detalle la fecundación animal y fue experto en cuestiones matemáticas y físicas. No solo eso, además hizo casi todo esto a los 25 años…*



# Lázaro Spallanzani. Experimentos en italiano

—¡¡¡*Mascalzone*!!!

La irrupción inesperada de este individuo casi me tiró al piso, mientras él salía corriendo en busca de algo que evidentemente se le estaba escapando.

—¡*Il rospo, il rospo!* —me gritó en la cara.

—¿*Rospo?* ¿De qué habla? —pregunté, atónito.

—Ah, ¿*spagnolo?* —preguntó con interés—. *Il sapo*, que se me escapa, ¿*capisce?*

Así que entre los dos emprendimos una carrera hasta que pude tomar al sapo huidizo entre mis manos, y lo llevamos juntos al laboratorio.

—¿Spallanzani, verdad? —atiné a preguntar mientras nos poníamos sendos guardapolvos.

—Ah, sí, *sonno io*. Lazzaro, mucho gusto. —Y me tendió la mano, con el problema de que estaba sosteniendo un filoso bisturí que debí esquivar rápidamente—. Estoy por hacer un experimento fundamental con el *questo rospo*, ah, disculpe, con este sapo.

Tenía en su mesada un sapo hembra y el que había intentado escapar, un sapo macho.

—Ahora sin duda que querrán hacer sapitos, ¿verdad? —preguntó—. A ver, alcánceme esos pantaloncitos cortos de seda.

—¿Perdón?

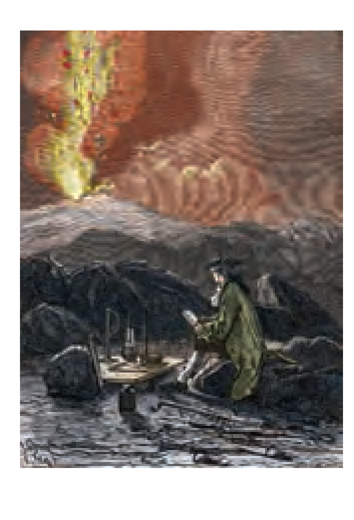
—Me escuchó bien: alcánceme esos pantaloncitos. ¡Rápido que estamos cerca del momento crucial!

Miré en la mesada y efectivamente había una especie de ropita de seda del tamaño de… ¿un sapo? Le alcancé una a Spallanzani, que se la calzó al sapo macho, quien ahora parecía salido de una fábula.

—Mire, mire ahora —me advirtió.

Cuando soltó a los animales, el macho intentó montar a la hembra, y asumieron una posición de amplexo por un buen rato, luego de lo cual el científico los separó y le quitó la "ropa" al macho.

—Puedo asegurarle que de este santo matrimonio no nacerá ni un solo renacuajo —dijo, triunfante—. Es uno de mis últimos descubrimientos: para que se produzca fecundación, deben encontrarse los fluidos del macho con los huevos de la hembra, y acá lo estoy demostrando.



*Los intereses de Spallanzani por la naturaleza eran amplios. Aquí se lo representó estudiando un volcán.*

—Brillante —dije, realmente admirado.

—Y si funciona, tengo otra idea: inyectarle este fluido de un perro macho a una perra hembra, y ver si logro fecundarla. ¡Eso sí que será una buena demostración!

Aproveché para dar una buena mirada alrededor del laboratorio. Estaba lleno de frascos, de distintos tamaños y contenidos. En una serie de estos frascos, había salamandras con colas de diferente longitud.

—¿Y esto? —pregunté.

—Ah, *caro amico*, como verá, hay animales que logran regenerar tejidos, como la cola de estas salamandras: se las corta y mágicamente vuelven a crecer. Aún no entiendo por qué ocurre en algunos animales y no en otros…

Sí: estaba pensando en la regeneración de tejidos, algo que recién en nuestra época estamos comenzando, si no a entender, al menos a considerar…

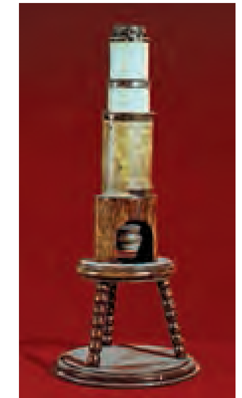
—¿Y aquí qué tenemos? —pregunté, señalando otra serie de frascos, que parecían lacrados.

—¡*Questa e la mia opera massima*! Con estos experimentos destruí al petulante de Needham, que decía que los microorganismos se generaban solos de la carne o del caldo nutritivo. ¿Oyó hablar de él?

— Sí, algo oí, es el que hirvió los caldos y aun así observó que aparecían organismos vivos en los frascos.

—Já… ¿Hirvió, dice? ¡Solo los calentó un momento! Yo hice lo que tenía que hacer: los herví por un buen rato y sellé bien los frascos: ya ve, van años y no ha aparecido la mínima señal de vida ahí adentro. Yo seré sacerdote, pero no me vengan a hablar de espíritu vital.

En otro gran frasco, aparecía una especie de monstruo que parecía un cuerpo de un tipo de serpiente con la cabeza de otro tipo de serpiente, pero por las dudas, no quise preguntar.



*Microscopio utilizado por Spallanzani.*

—Pero ahora vamos a seguir con el experimento del sapo —anunció—. Tengo la idea de que si logro recuperar el líquido que quedó en los pantaloncitos y lo pongo en contacto con los huevos de una hembra, tendría que haber fecundación. ¿Probamos?

Mi tiempo de viaje estaba llegando a su fin. Me arriesgaba a entrar a una paradoja del espacio-tiempo, no poder volver a mi época y ni siquiera poder enviar mensajes inteligibles. Pero la tentación de hacer el experimento era muy grande, así que decidí quedarme un rato más y *oireñiug`9875 4¡'67`fiho9¡7¡gf27¡4t7ÇP?)("%·P)(¡!!!!..ÑÑÑ…*






*Este monumento de Spallanzani, en su ciudad natal, Scandiano, lo muestra examinando un sapo.*

**1.** Analicen el experimento de Spallanzani con los sapos y respondan a las preguntas.

a. ¿Cuál es la función de los pantaloncitos colocados a los machos?

b. ¿A qué conclusiones habría arribado el científico italiano si se hubiesen desarrollado renacuajos a pesar de que el macho tuviera puestos los curiosos pantaloncitos durante la cópula?

**2.** ¿Por qué creen que era importante sellar los frascos en el experimento que Spallanzani realizó para refutar las ideas de Needham? Investiguen en otros libros y en Internet, y averigüen cómo influyeron estas experiencias en la refutación de las teorías sobre generación espontánea.

**3.** ¿Qué tipos de células están presentes en la cola de las salamandras que permiten que esta crezca aunque sea cortada? ¿Existen animales que puedan reproducirse al ser cortados? Den ejemplos.

Contenidos: Particularidades de la reproducción humana • Diferencias entre la reproducción de los humanos y la de otros mamíferos • Caracteres sexuales • Cambios en la pubertad • Sistema reproductor masculino • Sistema reproductor femenino • Ciclo ovárico y menstrual • Fecundación • Gestación • Parto • Medicina, tecnología y reproducción • Infecciones de transmisión sexual • La prevención de ITS y la reproducción responsable

# 7
# La reproducción humana



# [ESTUDIO DE CASO]



## El sexo de las historietas

La mamá de Wilbur Robinson de la película *La familia del futuro* (Disney, 2007) tiene una cintura imposiblemente angosta. Es obvio porqué: tiene una característica femenina en grado extremo. Algo parecido pasa con muchos otros personajes: los machos tienen espaldas anchas y a veces, barba; las hembras, pechos y caderas prominentes y cinturas angostas. Para un dibujante de historietas, la esencia de los géneros femenino y masculino yace en esas proporciones y detalles visuales. Pero ¿es esa la esencia de los dos sexos de nuestra especie?

Tenemos pistas de que eso no es así simplemente observando a los recién nacidos. Los bebés no tienen pechos grandes ni barba y, de hecho, si están vestidos, resulta prácticamente imposible distinguirlos (una perlita en la oreja ayuda). Y lo mismo ocurre si miramos a la mayoría de los mamíferos: nada en su exterior delata su sexo. Por debajo de los pañales y pelajes encontramos pautas más claras: las nenas tienen vagina, y los varones, pene y testículos. Si pudiéramos mirar adentro, encontraríamos un útero y ovarios en las nenas, y próstata en los varones. Los mismo es cierto para otros mamíferos. Todo parecería indicar que los genitales son más esencialmente sexuales que las pautas que aparecen en el canal Cartoon Network. Y, sin embargo, otros animales, como aves y peces (ni que hablar de insectos o lombrices) tienen machos y hembras que nos recuerdan poco y nada a nuestra anatomía. Machos sin pene, hembras sin vagina; buscaremos en vano el útero y los pechos de una paloma: no los tiene.

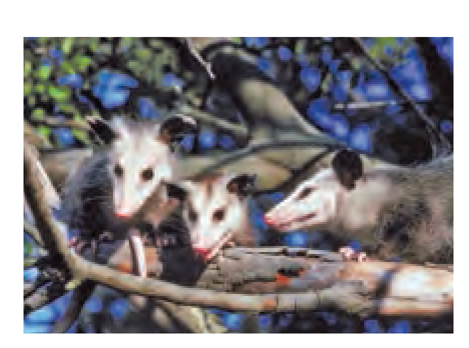
¿Cuál es la función de la barba o de la prominencia de los pechos en humanos o, para el caso, de las astas de los ciervos y las melenas de los leones? ¿Cuál es la función de las otras partes: de la vagina, del útero, del pene, de la próstata? ¿Por qué aparecen en algunas especies y en otras no? ¿Por qué algunas de estas características aparecen en la pubertad y otras, al nacer? ¿Cómo hace el cuerpo para "saber" que se viene la pubertad y debe adquirir nuevas características? ¿Qué relación hay entre testículos y barba, entre ovarios y cintura angosta? Entender la sexualidad de otros seres nos ayuda a comprender la nuestra. Y viceversa.

* Busquen personajes de historietas que tengan aspecto evidente de machos y de hembras. Identifiquen las características visuales para reconocerlos como tales. ¿Cuáles de estas características son biológicas y cuáles, culturales?

* Confeccionen una lista de todas las partes que conozcan del sistema reproductor masculino y femenino. Al lado de cada parte, escriban la función que crean que esa parte tiene. (No vale fijarse en un libro o en Internet).

›› Describir y explicar fenómenos biológicos utilizando teorías y observaciones personales.

## Los seres humanos somos mamíferos



A diferencia de los humanos, los marsupiales (como esta comadreja), no poseen placenta.



CIENCIAS **EN LA NET**

**El árbol filogenético de los primates**

Los homínidos pertenecemos al grupo de los primates, entre ellos se incluye a los orangutanes, a los lemures y a los llamados monos del nuevo mundo y monos del viejo mundo.

En el siguiente sitio, verán un árbol filogenético que vincula a todos los primates:

Educ.ar: http://goo.gl/49lqqn

›› Uso de TIC en el análisis de modelos científicos.

Los humanos pertenecemos a la clase de los mamíferos. Es decir que nuestra forma de reproducirnos, en términos generales, es similar a la de otros animales de este grupo: la fecundación es interna, el desarrollo es vivíparo, las crías son cuidadas por sus padres al nacer y se alimentan de leche producida en las mamas de las hembras.

Las personas formamos parte de un grupo particular de mamíferos: el de los placentarios (además, existen los marsupiales y los monotremas). Esto quiere decir que el embrión (y luego el feto) crece gracias a una estructura llamada **placenta**, que se forma en el cuerpo de la hembra durante el desarrollo. A través de la placenta, el nuevo individuo recibe los nutrientes del sistema circulatorio de la madre y elimina los desechos que también van a parar a la sangre de su progenitora.

Los seres humanos somos además primates y, dentro de ellos, pertenecemos a la familia de los homínidos, familia que compartimos con los chimpancés, los gorilas y los bonobos.

Además de tener las características de todos los mamíferos, los primates se distinguen por algunas características propias en su reproducción. Las hembras de este grupo tienen un ciclo menstrual que se diferencia del ciclo estral de otros mamíferos. Las características y las diferencias de estos dos tipos de ciclos serán vistas más adelante en este capítulo.

En los primates, el vínculo entre la madre y los hijos es más estrecho y se extiende más en el tiempo que en el resto de los mamíferos.

El caso más extremo es el de la crías humanas, que nacen indefensas y sin poder desplazarse por sí mismas. En este caso, la dependencia del bebé con los padres es mayor y es la más duradera entre los primates. Este hecho puede entenderse si analizamos la evolución de la especie humana.



## La reproducción humana y la evolución

Hace aproximadamente 7 millones de años, en el este de África (de acuerdo con lo que sostienen biólogos, paleontólogos y antropólogos), evolucionó un grupo de homínidos con la capacidad de caminar erguidos sobre sus patas traseras. Este grupo es conocido como los **homininos**. Existieron muchas especies de homininos, algunas especies desarrollaron la habilidad de construir y manipular herramientas. Esto era facilitado por el hecho de tener las extremidades delanteras libres, ya que no las usaban para desplazarse. Algunos de estos homininos, incluso, desarrollaron un lenguaje que vino acompañado de un mayor desarrollo cerebral. En la actualidad, solo una de estas especies sobrevive, se trata del *Homo sapiens*, es decir, de nosotros, los seres humanos.

## Peculiaridades de la reproducción humana

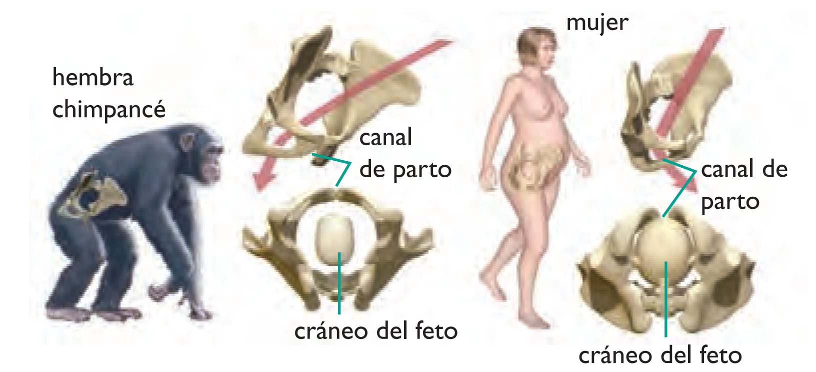
Los humanos somos una especie excepcional en muchos sentidos. Y nuestra reproducción también tiene características que son únicas. Algunas de ellas son el resultado de los cambios anatómicos que se dieron a medida que evolucionaron los homininos.

Al ser mamíferos vivíparos, al nacer, las crías humanas deben salir del cuerpo de la mujer. El "camino" que recorre una cría humana, al salir del útero de la madre, se llama **canal de parto**. La posibilidad de caminar erguidos implicó la modificación de ciertas estructuras del cuerpo, entre ellas los huesos de la pelvis, que hicieron que el canal de parto sea largo y estrecho; mientras que en las demás especies de primates, este canal permaneció relativamente corto. Otra característica novedosa de los homininos fue el aumento del volumen cerebral. En la tabla se muestran los valores promedio del volumen del cráneo de dos especies de primates: los chimpancés y los humanos.

| | Humano moderno | Chimpancé |
|---|---|---|
| Recién nacido | Entre 300 y 400 $cm^3$ | Entre 180 y 260 $cm^3$ |
| Adulto | Entre 1.200 y 1.850 $cm^3$ | Entre 275 y 400 $cm^3$ |

*Tabla que compara los volúmenes craneales de recién nacidos de dos especies de homínidos en relación con el volumen craneal de los adultos.*

Los humanos adultos tenemos el cerebro más grande que otros simios pero, al nacer, nuestro cerebro no es mucho más grande que el de otros simios recién nacidos. Si esto sucediera, la cabeza del feto humano no podría pasar por el canal de parto. La evolución dio como resultado que las crías humanas nazcan más temprano con relación a las de otros simios. Nacemos con un cerebro pequeño y un cráneo cuyos huesos no están soldados aún. Esto permite que la cabeza se acomode al nacer y que los huesos se suelden una vez que el cerebro haya crecido. Como consecuencia de esto, los bebés humanos son mucho más dependientes que las crías del resto de los homínidos y durante los primeros meses de vida, requieren de mucho más cuidado por parte de sus padres.




*Diferencias en el canal de parto de hembras chimpancé y de mujeres humanas.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué características en común tiene la reproducción humana con la del resto de los mamíferos? ¿Y con la de los primates?

2. ¿Qué son los homininos? ¿Qué cambios evolutivos relacionados con la reproducción aparecieron en este grupo de homínidos?

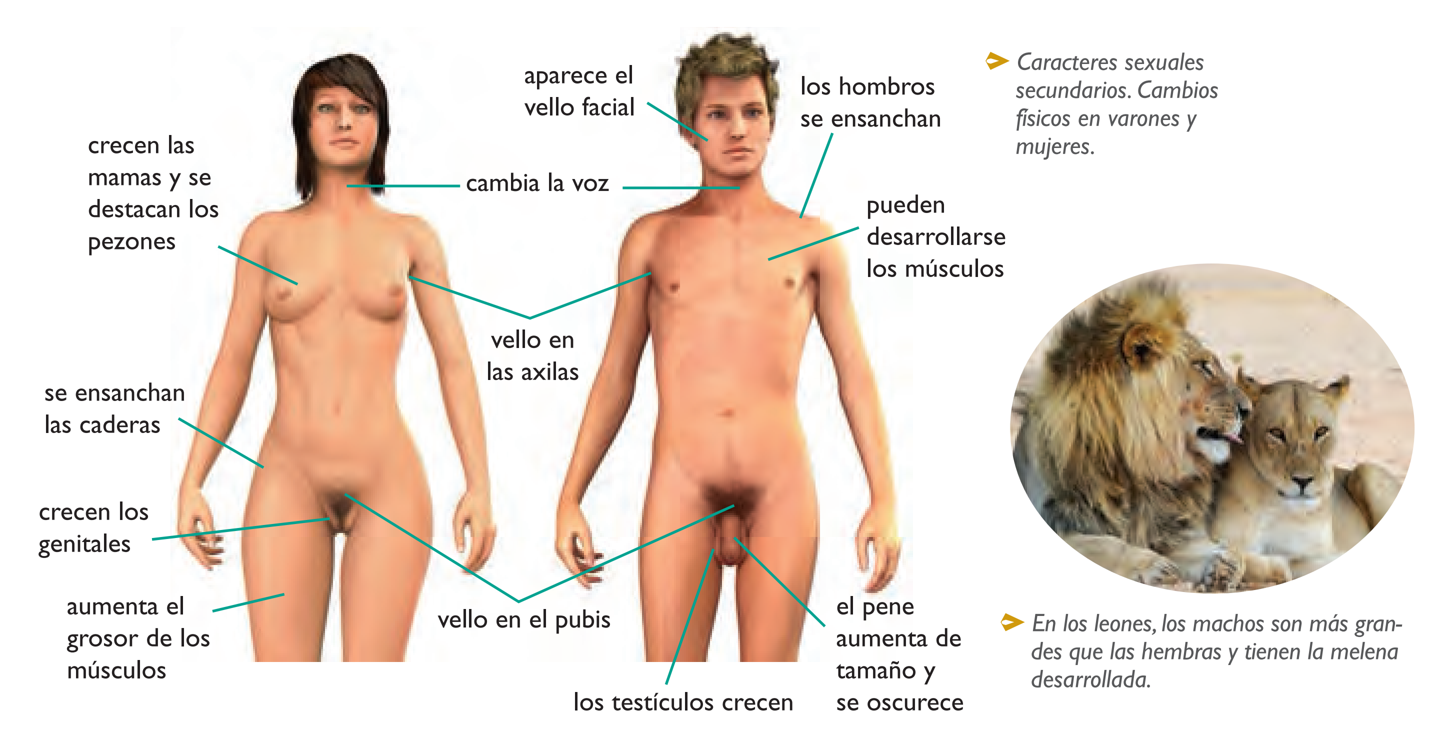
## La pubertad y los caracteres sexuales secundarios

Existe un momento en la vida de los mamíferos en el que se alcanza la madurez sexual. Esto quiere decir que el individuo ya es biológicamente capaz de reproducirse. En nuestra especie, esto ocurre entre los 10 y los 14 años, aproximadamente, y se llama **pubertad**. En la pubertad, los órganos reproductores, que son considerados los **caracteres sexuales primarios**, se desarrollan y adquieren su capacidad reproductiva. Las gónadas (ovarios y testículos) comienzan a producir gametos y hormonas sexuales. Por la acción de estas hormonas, se producen modificaciones físicas que permiten diferenciar a ambos sexos, las características que aparecen se denominan **caracteres sexuales secundarios**. En las mujeres, los órganos reproductores aumentan de tamaño y se desarrollan las mamas. Se ensanchan los muslos, se redondean las caderas y crece el vello en las axilas, en las piernas y en el pubis. Aparece la primera menstruación, que recibe el nombre de **menarca**. En los varones, también crecen de tamaño los órganos reproductores. Se ensancha la espalda, aumenta la musculatura y aparece el vello en la cara, en el pubis y en el tórax, y la voz se torna más grave. Además, se producen las primeras eyaculaciones.

En esta etapa, también aparecen conductas relacionadas con la seducción y la conquista de las personas que nos atraen sexualmente.

Los caracteres sexuales secundarios no son exclusivos de los seres humanos. Si bien en algunas especies animales no es fácil diferenciar un macho de una hembra (es el caso de los perros, los conejos o los ratones), en otras especies existen marcadas diferencias. El tamaño corporal es una característica que puede variar entre los sexos en muchos animales. En general, los machos de los mamíferos son los de mayor tamaño, como ocurre con los lobos marinos. Otras diferencias son la presencia o no de estructuras, como astas (en los ciervos), o de melenas (en los leones). Cuando las diferencias son muy marcadas, se dice que hay **dimorfismo sexual**. Si tenemos en cuenta los ejemplos anteriores de las diferencias entre los sexos, el caso de la especie humana no es tan pronunciado como en el caso de otros animales.






*Caracteres sexuales secundarios. Cambios físicos en varones y mujeres.*

*En los leones, los machos son más grandes que las hembras y tienen la melena desarrollada.*

## Las gónadas y los caracteres sexuales secundarios

El dimorfismo sexual se relaciona con el cortejo y con la posibilidad de reproducirse.

Desde la Antigüedad se sabe que extirpando los testículos de ciertos animales, estos modifican algunas de las características que los diferencian de las hembras (ornamentas, musculatura, comportamiento agresivo).

En 1771, el cirujano escocés John Hunter observó que los caracteres sexuales secundarios de gallos castrados podían mantenerse mediante un implante de testículos. En 1849, Arnold Berthold, un zoólogo alemán, confirmó las observaciones de Hunter y concluyó que los testículos liberaban sustancias químicas que eran transportadas por la sangre y que tenían efectos en tejidos del cuerpo alejados del lugar donde se produjeron.



### EXPERIMENTOS EN PAPEL

**¿Existe alguna relación entre los testículos y el desarrollo de los caracteres sexuales secundarios en los machos?**

HIPÓTESIS: los testículos son necesarios para el desarrollo de los caracteres sexuales masculinos.

PREDICCIÓN: el reimplante de testículos a gallos castrados reestablece los caracteres secundarios masculinos.

PROCEDIMIENTO: Berthold le extirpó los testículos a seis gallos y los organizó en tres grupos. Grupo 1: gallos castrados a los que les reinsertó sus propios testículos; grupo 2: gallos castrados con testículos reinsertados de otros gallos; grupo 3: gallos castrados a los que no se les reinsertó testículos.

RESULTADOS: los grupos 1 y 2 mostraron comportamiento agresivo y desarrollaron crestas. Los gallos del grupo 3 no mostraron cambios.

CONCLUSIONES: los testículos son responsables del desarrollo de los caracteres secundarios masculinos en los gallos.




*Experimento de Berthold (1849).*

Después de estos experimentos, los estudios se profundizaron. En 1935, el científico holandés Ernst Laqueur logró aislar e identificar la sustancia a la que hacía referencia Berthold y que llamó *testosterona*. Hoy sabemos que la testosterona es la hormona responsable de los cambios que ocurren durante la madurez sexual, tanto en los humanos como en los machos de otros animales.



**ESTUDIO** DE CASO

¿Qué función tiene el dimorfismo sexual? ¿Por qué no se observa desde el nacimiento?

» Describir y explicar fenómenos biológicos a partir de teorías y observaciones personales.

### ACTIVIDADES

1. Expliquen los cambios principales que ocurren durante la adolescencia.

2. En la pubertad, se adquiere la capacidad biológica para reproducirse. ¿Consideran que en la actualidad esta es la edad adecuada para tener hijos? ¿Por qué?

3. ¿Qué importancia tuvo el experimento de Arnold Berthold? ¿Por qué creen que se dejó un grupo de gallos sin testículos (grupo 3)?

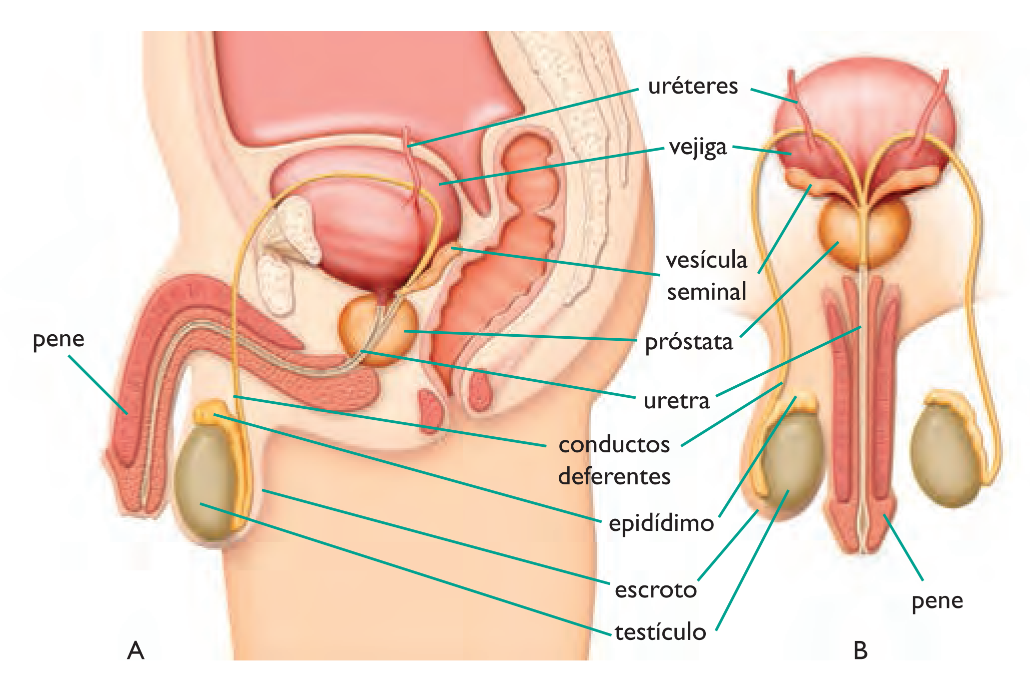
# El sistema reproductor masculino

En los hombres, el sistema reproductor está formado por distintos órganos ubicados en la pelvis. El **pene** es el único órgano sexual externo. Es un órgano cilíndrico con un extremo abultado y muy sensible llamado glande. Está recubierto por piel muy fina que forma un repliegue, el *prepucio*. En su interior, el pene tiene un tejido esponjoso con cámaras rodeadas por vasos sanguíneos. La **uretra** es un conducto que se extiende a lo largo del pene, y a través de este se expulsa el semen durante la eyaculación (por este conducto también sale la orina). Para que el semen ingrese en la vagina, el pene debe estar erecto. La erección es un mecanismo que involucra nervios y vasos sanguíneos. Frente a algún estímulo sexual, llegan al pene señales nerviosas que provocan el aumento del flujo de sangre en los tejidos del órgano. Como consecuencia, el pene aumenta su tamaño, se endurece y se extiende hacia delante. Luego de la eyaculación, el aporte de sangre disminuye, y el pene vuelve a su estado de flacidez o reposo.

El **escroto** es una estructura constituida por una serie de envolturas que alojan a los testículos y a otros órganos, como los **epidídimos** y la primera porción de los **conductos deferentes**. El escroto permite regular la temperatura de los testículos de manera de posibilitar el desarrollo adecuado de los espermatozoides, que para madurar necesitan una temperatura menor a la temperatura corporal de 37 ºC.

Los **testículos** son glándulas sexuales que cumplen una función endocrina, producen la hormona sexual masculina, **testosterona**, responsable de la aparición de los caracteres sexuales secundarios en los varones. Además, son las gónadas masculinas donde se forman las gametos masculinos o **espermatozoides**. Durante el desarrollo embrionario de un varón, los testículos están ubicados en el interior de la cavidad abdominal y descienden hacia la bolsa escrotal poco antes del nacimiento.





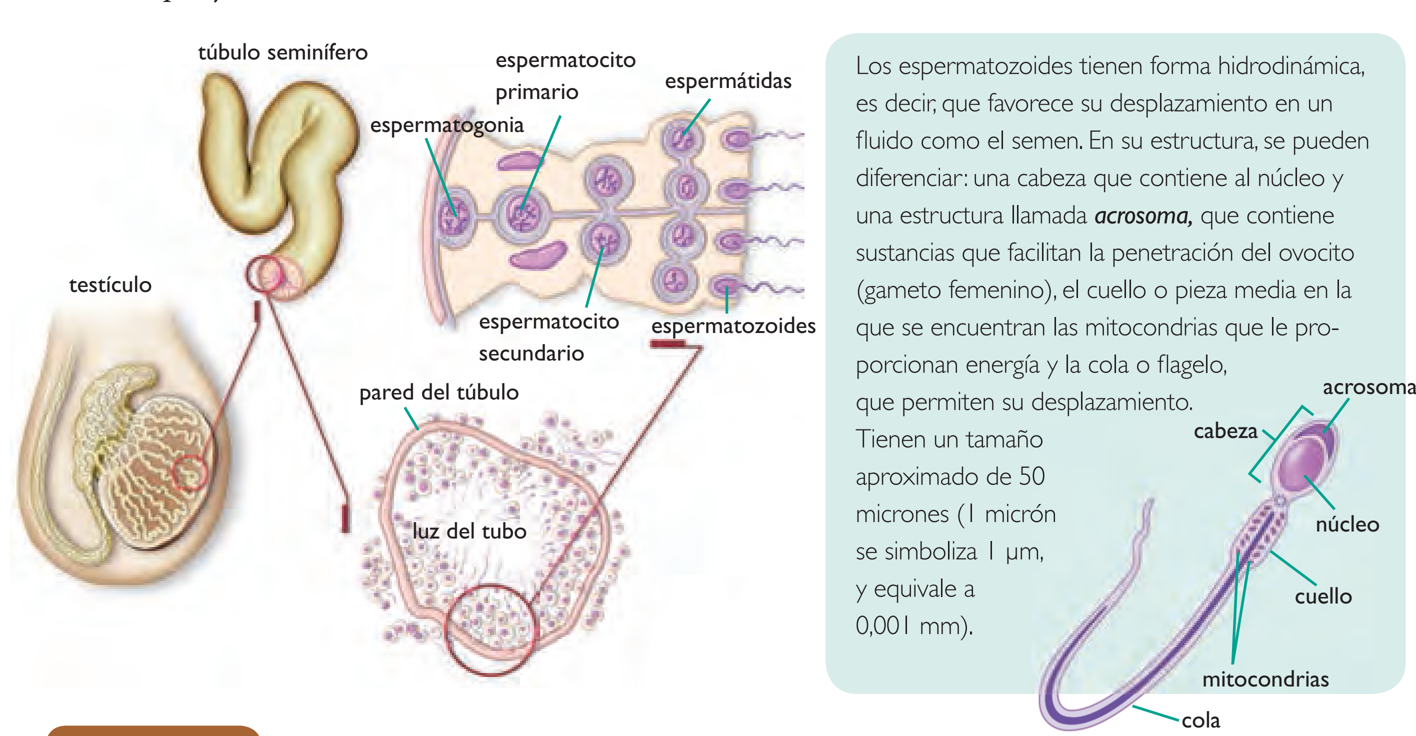

Sistema reproductor masculino. (A) Corte sagital. (B) Corte frontal.

## La producción de espermatozoides

A partir de la pubertad, los varones producen espermatozoides continuamente. La generación de nuevos espermatozoides se llama **espermatogénesis**, y se produce en el interior de cada testículo. Allí se encuentran numerosos túbulos enrollados, los **tubos seminíferos**. Dentro de estos tubos, hay unas células llamadas **espermatogonias**, que dan origen a otro tipo de células: los **espermatocitos primarios**, estos se dividen y forman los **espermatocitos secundarios**, los cuales, al dividirse nuevamente, dan origen a las **espermátidas**. Luego, estas células maduran, adquieren movilidad y se convierten en espermatozoides, este último paso ocurre en los epidídimos, que están sobre los testículos. Los espermatozoides viajan por los **conductos deferentes** que, junto con las vesículas seminales, confluyen en el conducto eyaculador. Las vesículas seminales, la próstata y las glándulas de Cowper son glándulas que contribuyen a la formación del líquido seminal que se vierte al conducto eyaculador y que, junto con los espermatozoides, forman el **semen**. El líquido seminal contiene sustancias que nutren y favorecen el desplazamiento de los espermatozoides y ayudan a neutralizar la acidez de la vagina que podría matar a los espermatozoides. En cada eyaculación se pueden liberar entre 2,5 a 5 mililitros de semen, y cada mililitro contiene, aproximadamente, 100 millones de espermatozoides.

Los espermatozoides no se liberan solo en la eyaculación. Antes del coito y durante este, el pene libera un líquido lubricante llamado *líquido preseminal*, que también puede contener espermatozoides.






Los espermatozoides tienen forma hidrodinámica, es decir, que favorece su desplazamiento en un fluido como el semen. En su estructura, se pueden diferenciar: una cabeza que contiene al núcleo y una estructura llamada ***acrosoma,*** que contiene sustancias que facilitan la penetración del ovocito (gameto femenino), el cuello o pieza media en la que se encuentran las mitocondrias que le proporcionan energía y la cola o flagelo, que permiten su desplazamiento. Tienen un tamaño aproximado de 50 micrones (1 micrón se simboliza 1 µm, y equivale a 0,001 mm).

### ACTIVIDADES

1. ¿En qué consiste el mecanismo de erección?
2. ¿Qué importancia presenta el líquido seminal para los espermatozoides?
3. ¿Cuáles son las funciones de los testículos?
4. ¿Qué es la espermatogénesis? ¿Qué cantidad de espermatozoides se liberan en cada eyaculación?

## El sistema reproductor femenino

En las mujeres, el sistema reproductor se ubica también en la zona de la pelvis y está compuesto por órganos externos e internos. Al conjunto de genitales externos, se lo denomina **vulva** y está constituido por pliegues de piel llamados *labios*, el *clítoris* y el *orificio vaginal*. En la vulva hay glándulas que segregan una sustancia que ayuda a la lubricación durante el coito. El clítoris es un pequeño órgano cilíndrico compuesto por tejido eréctil que se llena de sangre al ser estimulado.

Los órganos internos son el útero, los ovarios y la vagina. Los **ovarios** son las gónadas femeninas, donde se forman los gametos u **ovocitos**, y se secretan las hormonas sexuales femeninas (estrógenos y progesterona). Estas hormonas son responsables de la aparición de los caracteres sexuales secundarios en la mujer.

Las **trompas de Falopio** son dos conductos que comunican los ovarios con el útero, estos captan el ovocito cuando es expulsado del ovario. Este proceso se llama **ovulación**.

El **útero** es un órgano muscular y hueco con forma similar a una pera invertida. La pared interna presenta un tejido rico en vasos sanguíneos y glándulas llamado *endometrio*.

La **vagina** es un conducto muscular que comunica al útero con el exterior a través del orificio vaginal. Es el órgano por el que ingresa el pene durante el coito y funciona como canal de parto, permitiendo la salida del feto.

En la mujer, la uretra no forma parte del sistema reproductor. Solo libera la orina al exterior.



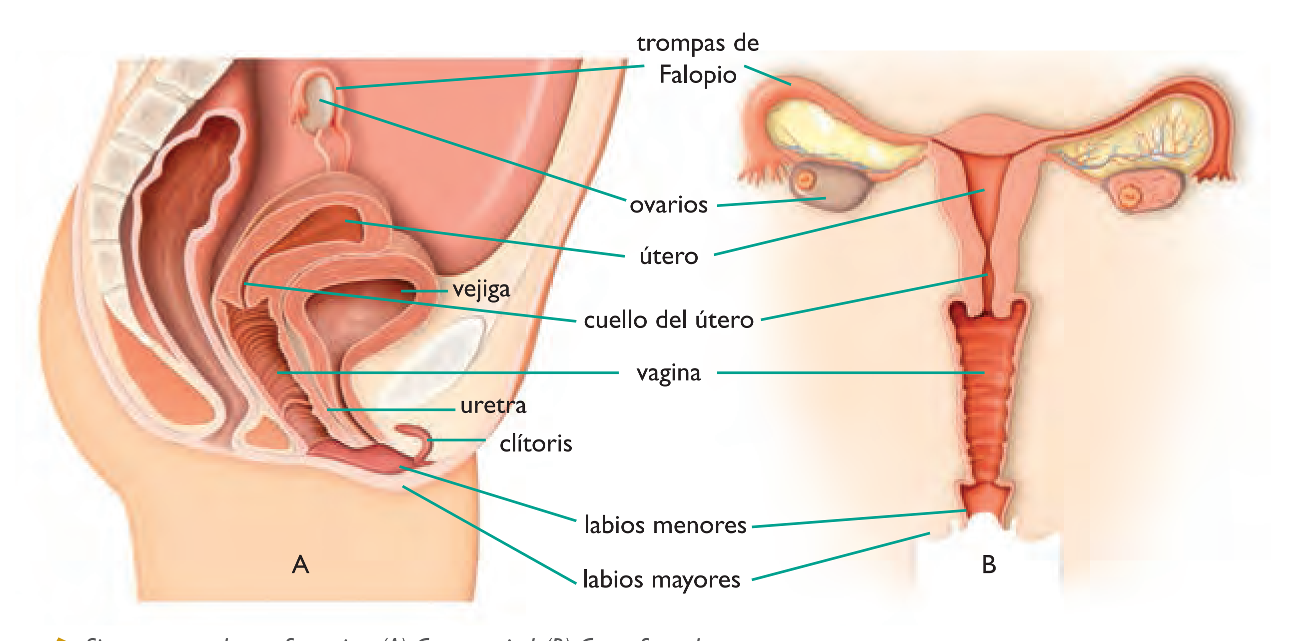
CIENCIA **EN ACCIÓN**

**¿Qué es un útero bicorne?**

En algunos mamíferos, como los delfines, el útero es bicorne, está dividido en dos partes por un tabique.

Existen casos de úteros bicornes en algunas mujeres. Antes se creía que estas mujeres no podían reproducirse, pero son muchos los casos de nacimientos exitosos en mujeres con este tipo de útero. Requieren supervisión médica constante, ya que el feto se aloja en uno de los lados del útero por lo que tiene menos espacio y puede ser expulsado antes de término.

» Relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.



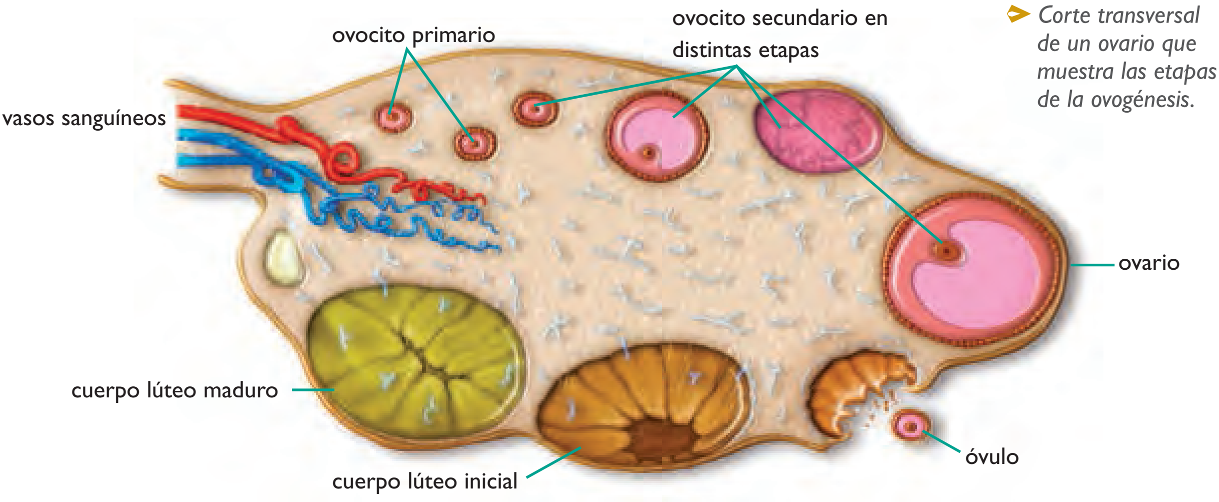

Sistema reproductor femenino. (A) Corte sagital. (B) Corte frontal.

## La maduración de los ovocitos

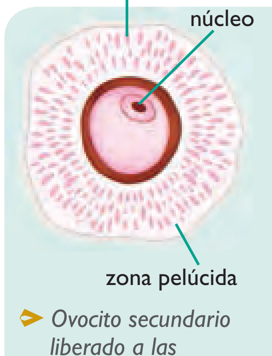
Cuando la mujer es solo un embrión en gestación, en sus ovarios ya hay células llamadas *ovogonias* que comienzan a transformarse en ovocitos primarios. Así comienza la **ovogénesis** o generación de ovocitos. Los ovocitos primarios se rodean de una capa de células, llamada *folículo primordial*, y comienzan su división, que queda detenida hasta la pubertad. En esa etapa se reactiva y se produce un ovocito por mes (en la mayoría de los casos). Estos continúan su división y, en torno a ellos, crece una estructura folicular que produce sustancias nutritivas y hormonas. Al culminar la división, se genera un ovocito secundario y se libera fuera de la estructura folicular y fuera del ovario, rodeado de una delgada capa de células. Las células que formaban parte del folículo se transforman y conforman una estructura llamada *cuerpo lúteo* o *amarillo*, que produce hormonas sexuales. El ovocito producido termina su proceso de maduración solo si es fecundado. En este caso, por cada ovogonia se conserva solo un óvulo. A diferencia de los varones, las mujeres nacen con un número determinado de células sexuales, no generan nuevas.

## Las mamas

Si bien las mamas no forman parte del sistema reproductor femenino, son importantes en la reproducción de los mamíferos. En general, el número de mamas que poseen las hembras equivale al doble de las crías que tienen normalmente en cada parto. En la especie humana, habitualmente nace una sola cría por vez, y las mamas son dos, por lo que esta relación se cumple. Las mamas están constituidas por tejido adiposo (grasa), tejido glandular, que es el que produce la leche y una serie de conductos que desembocan en el pezón.




*Corte transversal de un ovario que muestra las etapas de la ovogénesis.*




*Ovocito secundario liberado a las trompas de Falopio.*

Los ovocitos son inmóviles y tienen un volumen 200 veces mayor al de un espermatozoide. Son células con mucho citoplasma, donde hay organelas que pasarán a formar parte del cigoto. Por fuera del ovocito, hay una capa protectora llamada *zona pelúcida* que presenta receptores que permiten la unión específicamente de los gametos masculinos. Otra capa de células recubre a la zona pelúcida, juntas forman la corona radiada.

### ACTIVIDADES

1. Mencionen 3 diferencias y 3 similitudes entre los espermatozoides y los ovocitos y sobre sus procesos de formación.

2. Comparen el pene con el clítoris. ¿Qué tienen en común? ¿Cuáles son sus funciones?

## Ciclo menstrual y ciclo ovárico

A excepción de los primates, en las hembras de los mamíferos existe un ciclo reproductor denominado **estral**. El estro, comúnmente llamado **celo**, es el conjunto de señales que les da la hembra a los machos, y que indican que se aproxima la etapa fértil. Con el estro, se inicia el único período en el que la hembra se encuentra receptiva a la cópula, y es el momento próximo a la ovulación. Cuando el estro ocurre una o dos veces al año, se habla de hembras **monoéstricas**. Cuando ocurre con más frecuencia, se habla de hembras **poliéstricas**, como las vacas.




*Las perras son hembras monoéstricas, las vacas son poliétricas.*

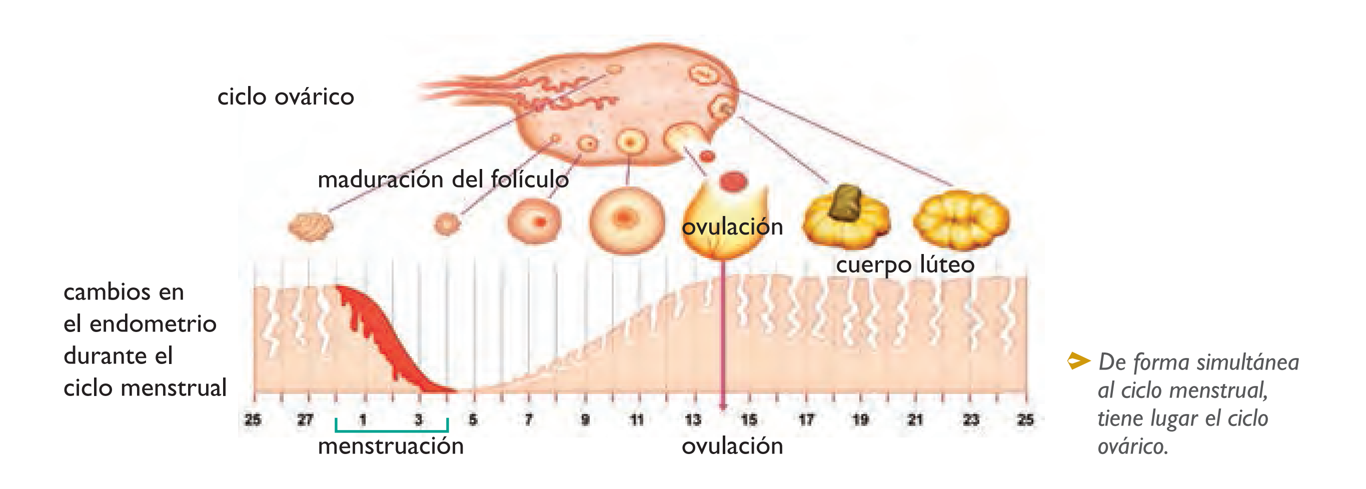
El ciclo estral comienza con un sangrado a nivel vaginal por ruptura de vasos sanguíneos, cuando la hembra aún no se muestra receptiva frente al macho. El celo ocurre después del sangrado, y coincide con la ovulación. Si no ocurrió la fecundación, la pared interna del útero (el endometrio) es reabsorbida por el organismo.

Las mujeres, como el resto de las hembras de los primates, tienen **menstruación** en lugar de ciclo estral. El coito puede ocurrir en cualquier momento del ciclo.

El ciclo menstrual comienza con un sangrado por la vagina que no se debe a la ruptura de capilares sanguíneos, sino a la eliminación de tejido del endometrio. Esta eliminación ocurre cuando, luego de la ovulación, no se produce la fecundación. El sangrado dura entre tres y siete días. El primer día de sangrado se considera el día 0 del ciclo.

Mientras dura la menstruación, en los ovarios un folículo comienza a madurar y a secretar estrógenos que estimulan un nuevo crecimiento del endometrio. Aproximadamente el día 14 del ciclo, un folículo maduro se rompe y se produce la ovulación. Posteriormente, el folículo se transforma en una estructura llamada **cuerpo lúteo** o amarillo, que secreta estrógenos y progesterona que promueven un mayor desarrollo del endometrio, el cual se prepara para albergar al cigoto, resultante de una posible fecundación. Si no hubo fecundación, el cuerpo lúteo deja de secretar hormonas, y el endometrio se descama y se produce un nuevo sangrado. Desde una menstruación hasta la siguiente, pasan aproximadamente 28 días.

A la primera menstruación, que le da comienzo a la pubertad, se la llama **menarca** y a la última, que ocurre entre los 45 y los 50 años, se la llama **menopausia**.




*De forma simultánea al ciclo menstrual, tiene lugar el ciclo ovárico.*

## La fecundación y la fertilidad

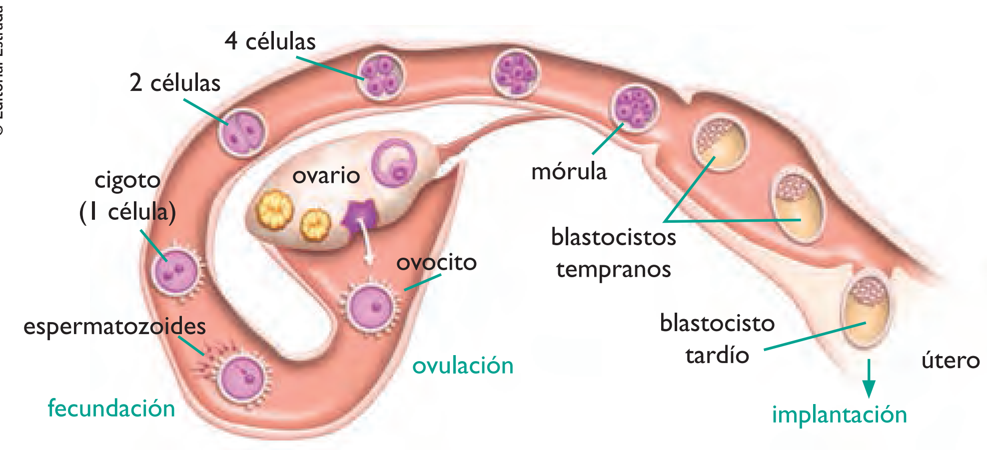
Luego del coito, el semen es depositado en la vagina, y los espermatozoides ascienden por las vías genitales femeninas, algunos llegan hasta las trompas de Falopio. Si hubo ovulación, existe la posibilidad de que los espermatozoides se encuentren con el ovocito. La **fecundación** es la unión de un espermatozoide con el ovocito. De los miles de espermatozoides que alcanzan al ovocito, solo uno es capaz de penetrar las envolturas de esta célula. Con la fecundación ocurren una serie de reacciones químicas en el ovocito que impiden el ingreso de otros espermatozoides. El ovocito completa su maduración y origina el óvulo, y los núcleos de ambos gametos se fusionan dando lugar a una nueva célula llamada **cigoto**.

Los ovocitos tienen un tiempo de vida media de aproximadamente 72 horas, y los espermatozoides, entre 24 y 72 horas. Esto extiende el período en el que hay una mayor probabilidad de que se produzca la fecundación. Este período suele extenderse tres días antes y tres días después de ocurrida la ovulación. Además, cualquier factor externo o interno puede alterar el ciclo ovárico, por lo que el día de ovulación puede variar cada mes.

### Desarrollo del embrión en las primeras semanas

El cigoto comienza a dividirse formando el embrión. Avanza hacia el útero, favorecido por los movimientos en las paredes de la trompa de Falopio. A los tres días, el embrión está formado por ocho células y recibe el nombre de **mórula** (su forma recuerda a una mora). A la semana, el embrión se encuentra en el útero y penetra en la mucosa de este, fenómeno conocido con el nombre de **implantación** o nidación. A partir de ese momento, el ciclo menstrual se interrumpe. Durante los primeros días de su desarrollo, el embrión se nutre de las reservas alimenticias que aportó el ovocito. Luego, el embrión y el endometrio asocian sus tejidos y formarán la placenta.






*Primeros días del desarrollo embrionario, desde la fecundación hasta la implantación en el útero.*



*El espermatozoide penetra las capas del ovocito gracias a sustancias que se generan en su cabeza.*

### ACTIVIDADES

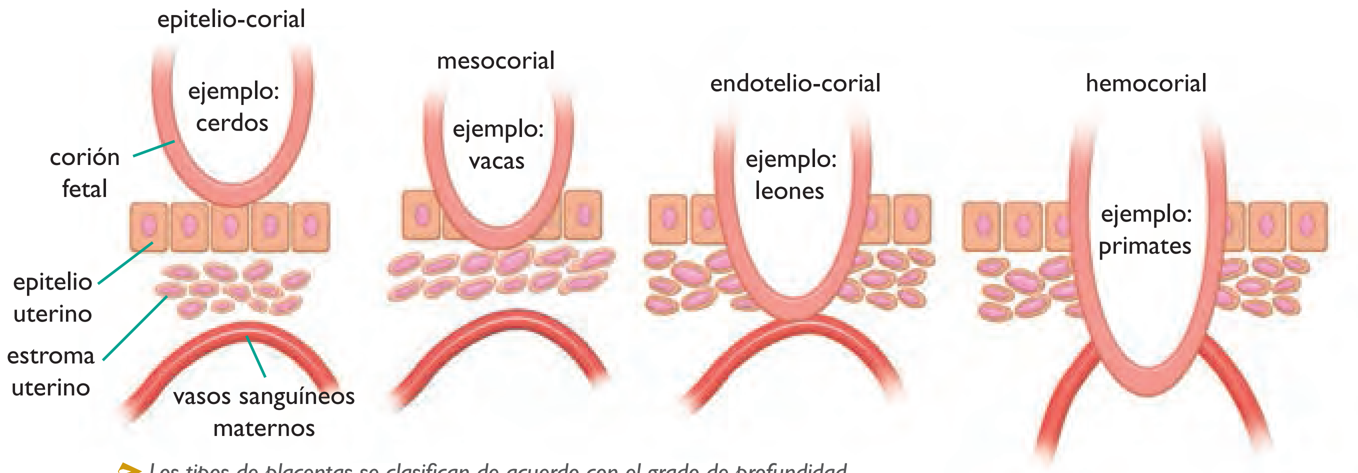
**1.** Expliquen por qué se considera que el período en el que es probable que se produzca la fecundación excede el momento de la ovulación.

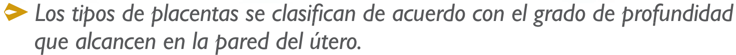
**2.** Discutan en grupo qué cambiaría en la sexualidad humana si, en lugar de presentar ciclo menstrual, las mujeres tuviesen ciclo estral.

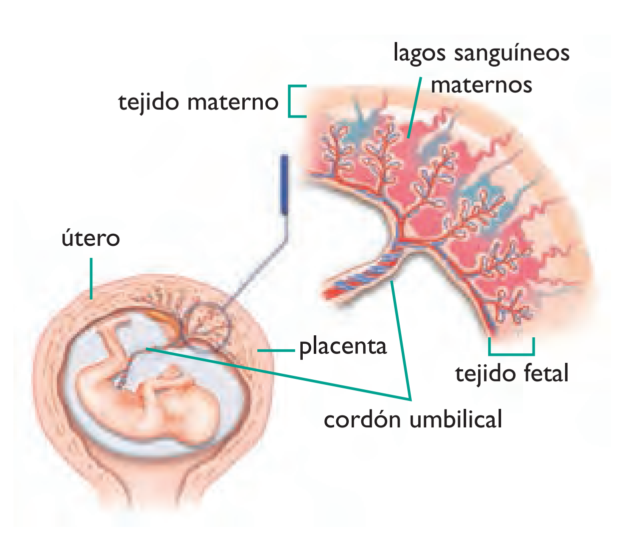
**3.** Mencionen los cambios que ocurren en el ovocito una vez ocurrido el ingreso del espermatozoide. ¿Cómo se nutre el embrión durante las primeras semanas?

# El desarrollo del feto en el útero

Con la implantación comienza la gestación, que culmina con el parto. Cuando el embrión se implanta, se desarrollan nuevas estructuras similares a las que existen en el huevo de los ovíparos (el amnios y el corion). El **amnios** es una membrana que envuelve el embrión y que contiene líquido amniótico, un fluido que protege el embrión de golpes y cambios de temperatura. El **corion** está por fuera del amnios y evita la pérdida de agua. Esta estructura desarrolla vellosidades que se insertan en el endometrio y se vincula con los vasos sanguíneos del útero, lo que permite el intercambio de sustancias entre el embrión y la madre. Posteriormente, esta estructura junto con los vasos sanguíneos y el endometrio circundante forman la placenta que, con el transcurso de los días, adquiere mayor desarrollo y complejidad. El embrión, y luego el feto, permanecerá unido a la placenta a través del **cordón umbilical** durante toda la gestación. A través de la placenta, el feto recibe oxígeno y nutrientes y elimina dióxido de carbono y otros desechos.





*Los tipos de placentas se clasifican de acuerdo con el grado de profundidad que alcancen en la pared del útero.*




*La placenta humana es de tipo hemocorial.*

## La placenta humana

La placenta humana es de tipo hemocorial, como la del resto de los primates y la de los roedores. Este tipo de placenta es lo suficientemente profunda como para penetrar en la pared uterina hasta los vasos sanguíneos.

El grado de relación que hay entre los tejidos del feto y los de la madre, a través de la placenta, hace que después del parto, cuando esta estructura es expulsada, se forme una herida en la pared interna del útero. Esta herida sangra por algunos días. Esto no ocurre con la placenta de otros mamíferos, el sangrado es escaso o ausente, ya que la placenta es más independiente y se desprende con mayor facilidad.

## La gestación

Desde que se forma el cigoto hasta que el feto está maduro, ocurren una serie de cambios durante 38 a 42 semanas. Entre las semanas 9 y 12, el embrión pasa a llamarse feto. Si bien los cambios ocurren de manera continua, se puede estudiar la gestación mes a mes y observar las características nuevas que aparecen.



Primer mes
El corazón empieza a latir, el embrión mide unos 5 mm.

Segundo mes
Se empiezan a diferenciar las extremidades y los genitales. Comienza a formarse el sistema nervioso.

Tercer mes
El feto mide unos 10 cm. Se diferencia bien la cabeza y están formadas las extremidades.

Cuarto mes
El feto mide unos 15 cm y empieza a cubrirse con pelos.

Quinto mes
El feto mide unos 20 cm, la madre ya puede sentir que se mueve dentro del útero.

Sexto mes
El feto mide unos 25 cm. Ya están formados todos los órganos.

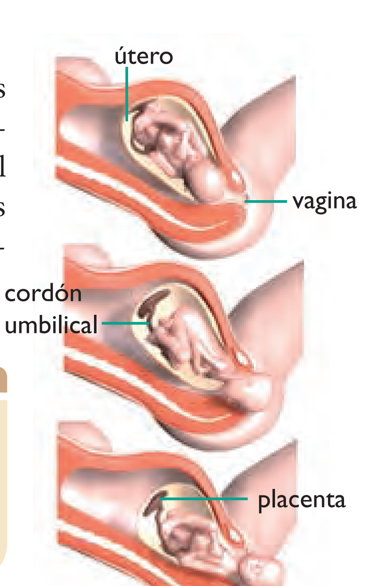
Séptimo mes
El feto mide unos 30 cm. Ya abre los párpados y se inicia la circulación pulmonar.

Octavo mes
El feto mide unos 35 cm. Pierde una cubierta de pelusa que le cubría la piel.
En esta etapa se empieza acumular grasa en distintas partes de su cuerpo.

Noveno mes
Luego de acumular la grasa suficiente debajo de la piel, el feto mide unos 40 cm y se mueve notablemente.

## El parto

La salida del bebé a través de la vagina se denomina **parto**. Sucede cuando las paredes del útero comienzan a contraerse y a dilatarse de manera rítmica. Las contracciones favorecen la salida del feto. Una vez en el exterior, al bebé se le corta el cordón umbilical que lo unía a la placenta y comienza a respirar por sus propios medios. Finalmente, ocurre el *alumbramiento*, donde contracciones del útero provocan la expulsión de la placenta.




### ACTIVIDADES

1. ¿Cómo se forma la placenta? ¿Qué funciones tiene?

2. ¿Qué función tiene el líquido amniótico?

3. Cuando un bebé nace, expande los pulmones, los cuales estaban comprimidos dentro del útero. Si no utiliza los pulmones, ¿cómo respira el feto?

## La medicina, la tecnología y la reproducción humana

En la actualidad, los obstetras, que son los médicos y médicas especialistas en gestación, les indican a sus pacientes realizarse **ecografías** cada mes. Esta técnica no le causa daño al feto y permite hacer un seguimiento bastante detallado del desarrollo del ser humano en gestación. Una ecografía permite diagnosticar, por ejemplo, si existe alguna malformación en el feto. También permite observar si el feto está creciendo bien, si su frecuencia cardíaca es la adecuada y hasta permite saber cuál es la fecha probable en la que se producirá el parto.



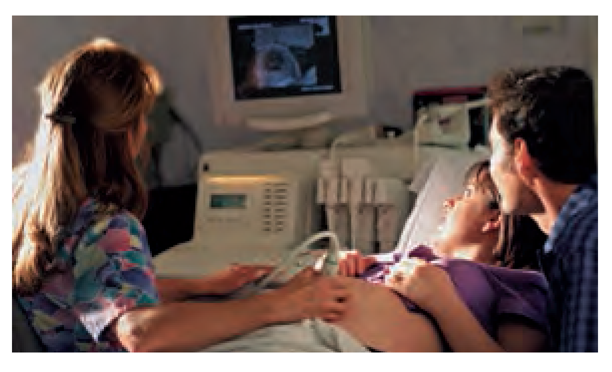
*Las incubadoras han permitido la supervivencia de bebés prematuros que antes de este invento, no habrían podido sobrevivir.*

Existen otros estudios que tienen un cierto riesgo para el feto, que consisten en la extracción de líquido amniótico o de parte del corion. Se realizan para saber si hay alteraciones genéticas, pero el médico tiene que evaluar si existe una alta probabilidad de que existan dichas alteraciones para indicar el estudio.

Es recomendable que el parto esté asistido por el obstetra o la obstetra y por obstétricas, llamadas también parteras (en general son mujeres), especialistas en la asistencia durante el nacimiento. Debido a la anatomía particular del canal de parto de las humanas, es posible que el trabajo de parto (proceso mediante el cual el cuerpo de la mujer se prepara para parir) sea largo y más dificultoso que el parto de otras hembras primates. Puede ocurrir que se presenten complicaciones que no se solucionen con las maniobras del obstetra o de la partera. En ese caso, se realiza una intervención quirúrgica llamada cesárea, que es una incisión en la pelvis y en el útero, a través de la que se saca al feto. Esto sucede, por ejemplo, cuando lo primero que va a salir es la cara, en lugar de la parte superior de la cabeza. Los huesos de la cara sí están soldados y no son flexibles, por lo que pueden romperse al atravesar el canal de parto.

En casos de nacimientos prematuros, el bebé puede seguir creciendo en **incubadoras**, que son lugares aislados con la temperatura adecuada para que el bebé termine su desarrollo.

En algunos casos, el feto presenta una coloración amarillenta debida a una alta concentración de una sustancia llamada *bilirrubina*, la cual se degrada con la radiación solar o con lámparas especiales.



*Una ecografía es un método de diagnóstico por imágenes que utiliza el eco de sonidos de alta frecuencia para formar una imagen del interior del cuerpo.*

CIENCIA **EN ACCIÓN**

### El ácido fólico

Desde hace unos años, se les indica a las embarazadas tomar ácido fólico (o vitamina B9) hasta el tercer mes de gestación. Se descubrió que esta vitamina está relacionada con la formación del sistema nervioso del feto.

» Relación entre la ciencia, la tecnología y la sociedad.





# La tecnología y la fertilidad humana

Algunas parejas que quieren tener hijos tienen dificultades para lograr un embarazo.

Las causas de la infertilidad de una pareja pueden ser muy diversas y tener muchas razones. Si bien no se conocen todas, la ciencia ha avanzado muchísimo en este campo. Tanto que en la actualidad, muchas parejas que antes se consideraban estériles, ahora pueden tener hijos biológicos.

Algunos factores involucrados en la infertilidad están relacionados con deficiencias en el sistema reproductor del hombre o de la mujer. Algunos de estos ejemplos son ausencia de ovulación, escasez o baja movilidad de espermatozoides, algún bloqueo en las vías genitales que impiden la unión de los gametos o incompatibilidad entre los gametos.

Para estos casos, existe la **fecundación asistida**, que consiste en una variedad de técnicas que tiene como objetivo lograr la fecundación, la implantación y el desarrollo del embrión, cuando estos no se producen de forma espontánea.

Entre las técnicas más utilizadas, se destacan:

* La **estimulación ovárica**, en la que se inyectan hormonas para provocar la ovulación o aumentar la maduración de ovocitos. Se utiliza en casos donde hay dificultades en la ovulación.
* La **inseminación artificial** consiste en la introducción de semen en el interior de las vías genitales femeninas; se hace con un dispositivo similar a una jeringa. En general esta técnica se utiliza cuando los espermatozoides son escasos o tienen problemas de movilidad, y en los casos en los que se desconoce la causa de la infertilidad.
* La **fecundación in vitro** y **transferencia de embriones** consisten en la extracción de varios ovocitos que se fecundan con los espermatozoides fuera del cuerpo de la madre. Luego, se seleccionan los embriones más viables, que se transfieren al útero de la madre. Esta técnica se utiliza en casos de obstrucción de las vías genitales femeninas o cuando hay dificultades en la ovulación.
* Una variante de la fecundación in vitro es la **inyección intracitoplasmática de espermatozoides**, que en lugar de dejar que el espermatozoide penetre en el ovocito, consiste en la inyección de un espermatozoide en el citoplasma del gameto femenino. Esta técnica se utiliza cuando hay bloqueos de las vías genitales masculinas o, como en el caso anterior, cuando los espermatozoides son escasos o tienen problemas de movilidad.

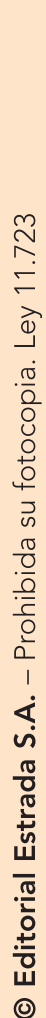
Desde junio de 2013, la Argentina cuenta con una ley de fertilidad asistida (Ley N.° 26.862). Esta ley establece que los servicios de salud (públicos, obras sociales reguladas y medicina prepaga) deben incorporan como prestaciones obligatorias, a todos sus afiliados o a los beneficiarios que lo soliciten, las terapias de apoyo y técnicas de fertilización asistida. Además, regula el destino de los gametos y embriones que no han sido utilizados, que no podrán tener fines de lucro o comerciales.



*Microfotografía donde se muestra la técnica de inyección intracitoplasmática de espermatozoides.*

* ¿En qué casos se utilizan cada uno de los procedimientos mencionados?
* ¿De qué manera influyen estas técnicas de fertilización asistida y la promulgación de la Ley N.° 26.862 en la planificación familiar de las personas en el país?

›› Relación entre la ciencia, la tecnología, la sociedad y el ambiente.



## Infecciones de transmisión sexual

La reproducción sexual es una forma de generar variabilidad que puede acarrear consecuencias nocivas para los individuos involucrados. Una de estas consecuencias son las infecciones de transmisión sexual (ITS), que pueden ser transmitidas de un individuo a otro durante el contacto sexual. Por contacto sexual no solo se hace referencia al contacto pene-vagina, sino también al contacto que pueda existir entre los órganos genitales externos con la boca o el ano, contactos que son frecuentes en algunas especies de primates entre las que se encuentran los humanos. Las ITS afectan tanto a varones como a mujeres de todas las edades.

Los agentes que causan las ITS pueden ser bacterias, hongos o virus, que han evolucionado hasta adaptarse al organismo de las especies que infectan, en este caso, los humanos.

### El VIH y el sida

El virus de inmunodeficiencia humana o VIH es el causante de la enfermedad llamada sida (síndrome de inmunodeficiencia adquirida). Este virus se contagia por vía sexual (genital, anal u oral), vía sanguínea (al compartir materiales infectados como agujas) y de la madre al hijo (durante el embarazo, el parto y la lactancia). El virus puede permanecer latente durante meses e incluso años, período en el que la persona infectada no presenta síntomas y no desarrolla la enfermedad. En estos casos, la persona que vive con el virus, también puede infectar a otros si no previene la transmisión. Los virus no son considerados seres vivos, ya que no pueden reproducirse por sí mismos. Una vez que el virus del VIH ingresa a la sangre, su cubierta proteica se une (como la llave a una cerradura) a unas estructuras presentes en la membrana de células llamadas linfocitos T, que forman parte del sistema inmunológico. El material genético del virus ingresa y se inserta en el material genético de la célula. Esta información es "leída" por las organelas celulares, que producen copias del virus que salen de la célula a la sangre y repiten el ciclo. Cuando el paciente infectado muere, no es por causa directa del VIH, sino por infecciones llamadas oportunistas, que el sistema inmunológico de una persona sana hubiera evitado.

El VIH pertenece a una familia de virus que afectan el sistema inmunológico de primates; existe otro virus similar (VIS: virus de inmunodeficiencia de los simios), que afecta a los chimpancés, aunque en ellos, el sistema inmunológico no disminuye sus funciones tanto como en los humanos.

Si bien no se ha encontrado una cura para el sida, se han desarrollado medicamentos que permiten controlar el virus de las personas infectadas, que pueden tener una vida larga y plena, con los cuidados adecuados.



*Esquema del ciclo del VIH.*

#### CIENCIA **EN LA HISTORIA**

**El descubrimiento del VIH**

En 1983, el equipo del médico francés Luc Montagnier identificó el agente causante de una enfermedad que comenzaba a conocerse y a diseminarse: el sida. En esos tiempos, se consideraba una enfermedad terminal, ya que no se contaban con las herramientas que existen en la actualidad. La muerte de muchos artistas y personas reconocidas impulsó campañas de concientización a nivel mundial para luchar contra esta enfermedad. La película *Y la banda siguió tocando* recrea la epidemia de sida y el descubrimiento del VIH.

» La ciencia como construcción histórica y cultural.

## Virus del papiloma humano (VPH)

Los virus del papiloma humano o VPH, también conocidos como HPV (por sus siglas en inglés), son un grupo de virus que se denominan así porque pueden provocar verrugas o papilomas en las zonas genitales, aunque también pueden afectar la boca y la garganta. Es una de las ITS más frecuente y se conocen por lo menos 100 tipos de VPH diferentes. Algunos de ellos pueden producir cáncer de útero, de ano y de pene, entre otros.

Los VPH se transmiten por contacto sexual (genital, anal u oral). Cada persona puede tener más de una variante del virus. Dentro de las manifestaciones del virus, se destacan las verrugas o papilomas característicos, que tienen formas de coliflor, el desarrollo de células anormales y lesiones en la zona genital, estas dos últimas pueden derivar en cáncer si no se tratan.

## Sífilis y gonorrea

La sífilis y la gonorrea son ITS causadas por bacterias que pueden ser eliminadas por antibióticos, no así los virus, ya que no son organismos vivos.

La bacteria responsable de la sífilis es *Treponema pallidum*, que necesita condiciones de calor y humedad para vivir y desarrollarse, condiciones que se encuentran en las zonas de los genitales, en la boca y en el ano. La bacteria ingresa al organismo a través de lesiones existentes en estas zonas y genera una llaga o úlcera llamada chancro. El chancro no causa dolor y puede pasar desapercibido si se encuentra en el interior del cuerpo. En una segunda etapa, el chancro desaparece y pueden aparecer manchas en la piel, fiebre, dolores y fatiga. En ambos períodos, es sumamente contagiosa. Si la enfermedad no es tratada, puede ocasionar problemas cardíacos, neurológicos, afectar la piel, los huesos e incluso provocar la muerte. El contagio se produce por vía sexual y de la madre al hijo durante el embarazo o el parto. La sífilis se detecta mediante análisis de sangre y puede tratarse con antibióticos como la penicilina.

La gonorrea afecta las mismas zonas que la sífilis y es causada por la bacteria *Neisseria gonorrhoeae*. Los síntomas son más notorios en los varones, que sienten ardor al orinar y liberan un líquido blancuzco a través del pene. En las mujeres, puede causar inflamación en los genitales externos y en el útero, y afectar gravemente la función reproductora.

Algunas cepas de la bacteria *N. gonorrhoeae* se pueden eliminar con penicilina, pero otras son resistentes y se eliminan con antibióticos llamados cefalosporinas.


*Verrugas causadas por VPH.*


*Chancros causados por sífilis.*


*Conjuntivitis severa causada por gonorrea.*

### ACTIVIDADES

1. ¿Cuáles son las vías de transmisión de las ITS?
2. ¿Un portador de VIH es una persona enferma? ¿Están de acuerdo con esta afirmación? Justifiquen.
3. De acuerdo a lo que han leído sobre las ITS, ¿qué le recomendarían a una adolescente que recién se ha iniciado sexualmente?

## Reproducción, sexualidad y salud

Los humanos, a diferencia de otras especies, tenemos un lenguaje complejo, desarrollamos tecnología y somos conscientes de nuestros actos y de sus consecuencias. Estas cualidades hacen que la sexualidad humana implique más que reproducirnos. Es otra forma de relacionarnos con los demás.

El hecho de que las mujeres tengan un ciclo menstrual implica que cada mes tienen la posibilidad de quedar embarazadas. A diferencia de otros animales, los humanos tenemos la información, la conciencia y las herramientas que nos permiten planificar nuestra reproducción.

Cuando una persona decide iniciar una sexualidad activa, no siempre implica que esté decidiendo empezar a reproducirse. Existen diversos métodos que, al tener relaciones sexuales, impiden que se produzca la fecundación. Estos se denominan **métodos anticonceptivos**. A continuación, se describen los más frecuentes.

* **Métodos hormonales o químicos**. Vienen en diferentes formatos (pastillas, parches, inyecciones). La mayoría contiene hormonas que impiden la ovulación. En general, son métodos muy seguros para evitar un embarazo, siempre y cuando sean indicados por un médico o médica especialista. El dispositivo intrauterino (DIU) es una estructura de variadas formas (la más común es la forma de letra 'T'), que se coloca dentro del útero y libera hormonas que impiden la fecundación o la implantación del embrión. Algunos DIU además tienen sustancias que matan espermatozoides. Es necesario que lo coloque un ginecólogo y deben controlarse regularmente.

* **Métodos de barrera**. Impiden el paso de los espermatozoides hacia las trompas de Falopio. El preservativo es una funda de látex que se coloca, antes de la penetración, cubriendo el pene erecto (preservativo masculino) o dentro de la vagina (preservativo femenino). Los preservativos retienen el semen e impiden que ingrese a la vagina. Es importante colocarlo antes de cualquier contacto pene-vagina, ya que el líquido preseminal también puede fecundar.

El diafragma es otro método de barrera. Es una cubierta semiesférica de goma, más grueso que los preservativos, que se coloca en el interior de la vagina para impedir el paso de los espermatozoides al útero. En general se utiliza asociado a cremas espermicidas que matan a los espermatozoides. Debe quitarse por lo menos 6 horas después de haber tenido relaciones sexuales.

* **Métodos quirúrgicos**. Consisten en cirugías por medio de las cuales se cortan y atan los conductos deferentes en el varón (vasectomía) o las trompas de Falopio en la mujer (ligadura de trompas). Esta interrupción impide la salida de los gametos. Son métodos muy eficaces, pero casi siempre son irreversibles.

Antes de elegir un método anticonceptivo, cada persona debe consultar con un médico o médica, que le indicará cuál es el más adecuado de acuerdo con sus necesidades.



*Cuando una persona decide comenzar su vida sexual activa, debe consultar con profesionales de la salud que lo asesorarán sobre las precauciones que debe tomar.*




*Existe una gran diversidad de métodos anticonceptivos. La elección del método debe estar asesorada por un médico o médica.*

## La prevención de las ITS

Así como muchos virus y bacterias se han adaptado a vivir en el cuerpo humano, las personas tenemos una adaptación única: la posibilidad de investigar estos agentes y de prevenir las enfermedades que causan.

La mayoría de los métodos anticonceptivos no previenen el contagio de infecciones de transmisión sexual. El único que lo hace es el preservativo.

Tanto el preservativo masculino como el femenino son los métodos más efectivos para impedir que un virus o una bacteria entre a nuestro cuerpo. Con este fin, debe usarse en cualquier tipo de contacto sexual. Su eficacia depende de que se coloque de forma correcta, por eso, antes de utilizarlo se deben leer atentamente las instrucciones que aparecen en el envase.

Los preservativos tienen fecha de vencimiento, dado que el material del que están hechos se deteriora con el tiempo. Antes de usar un preservativo, se debe revisar la fecha de caducidad del envase.

Las personas que no tienen una pareja estable, así como los trabajadores de la salud o cualquier persona que esté en contacto con fluidos sexuales o con sangre de otras personas, deben hacerse exámenes que detecten ITS, de forma periódica.

Las mujeres, al comenzar su vida sexual activa, deben realizarse controles ginecológicos cada 12 meses. Estos controles incluyen un estudio llamado **colpocitología** o **Papanicolau** (también conocido como PAP), que consiste en tomar muestras de células de la vagina y del cuello del útero que son analizadas para detectar la presencia de virus del papiloma humano (VPH). Para aquellas mujeres que presenten el virus, este estudio debe realizarse anualmente como estrategia de control. Esta es la forma más efectiva de prevenir el cáncer de útero en mujeres adultas.

A partir de 2011, la vacuna del VPH se incorporó al calendario de vacunación de la Argentina. Esta vacuna, que protege contra dos tipos de VPH que son responsables de la mayoría de los cánceres de cuello de útero, es gratuita y obligatoria para todas las niñas a partir de los 11 años.

La sexualidad y la reproducción humana son aspectos muy complejos de la vida de las personas. La prevención tanto de embarazos no deseados como del contagio de enfermedades es responsabilidad de todas las personas involucradas en una relación sexual. Todos tenemos derechos y responsabilidades sobre nuestro cuerpo, y no debemos permitir que se lo ponga en riesgo de ninguna forma.



Preservativo masculino.



Preservativo femenino.

CIENCIA **EN LA HISTORIA**

**El preservativo en la historia**

Hay registros de que en la Antigua Grecia (1200-146 a.C.) se utilizaban vejigas e intestinos de cordero para evitar enfermedades de transmisión sexual, llamadas también venéreas por los romanos (del latín *venereus*, relacionado con Venus, la diosa del amor).

» La ciencia como construcción histórica y cultural.

ACTIVIDADES

1. ¿Sexualidad y reproducción son lo mismo? ¿Por qué?
2. ¿Qué son los métodos anticonceptivos? Describan brevemente los distintos tipos de métodos que existen.
3. ¿Cuál es el único método anticonceptivo que sirve además para prevenir ITS?

# ¿Qué sabemos sobre la reproducción humana?

Existen diversas creencias y mitos acerca de la reproducción y de la sexualidad humanas. Algunas de estas creencias están relacionadas con prácticas que se creen efectivas a la hora de evitar un embarazo no deseado. Algunos de estos conceptos erróneos son: "si se tienen relaciones durante la menstruación, no quedás embarazada"; "el preservativo se coloca justo antes de la eyaculación"; "usar dos preservativos juntos es más seguro que usar uno solo". También hay mitos acerca de la transmisión de enfermedades, como que en la práctica de sexo oral no se transmiten ITS, lo cual es falso.

El objetivo de este taller es evaluar cuán informadas están las personas de entre 13 y 15 años acerca de la reproducción y la sexualidad humanas. Para eso, les proponemos que hagan una encuesta.

[**HIPÓTESIS**] Los adolescentes manejan información incorrecta acerca de la reproducción y la sexualidad humanas.

[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Formen tres grupos de encuestadores. Uno de los grupos encuestará a estudiantes de 13 años; otro, a los estudiantes de 14 años, y el tercer grupo, a los estudiantes de 15 años. No olviden incluir a los estudiantes de su curso.

**2.** Elijan los temas del capítulo sobre los que quieran hacer la encuesta: funciones de las gónadas, uso del preservativo, período fértil de la mujer, infecciones de transmisión sexual (formas de contraerlas, formas de prevención), estos son algunos ejemplos de los temas que pueden elegir.

**3.** Diseñen el cuestionario. Hay que tener en cuenta que las preguntas deben ser simples, y es deseable que sean de opción múltiple para facilitar el análisis de los datos obtenidos. Las preguntas deben ser las mismas para todos los encuestados. Elaboren dos preguntas para cada uno de los temas propuestos.

**4.** Elaboren las fichas con los cuestionarios para cada uno de los temas. La ficha la debe manejar la persona que hace la preguntas, y debe ser quien anote las respuestas. A cada posible respuesta se le puede asignar un puntaje que se corresponda con cuán correcta o incorrecta la consideren. El encuestado no debe ver el puntaje asignado a cada respuesta. A modo de ejemplo, consideremos la siguiente pregunta:

**¿Cuándo debe colocarse un preservativo masculino?**

a. Antes de salir de casa, cuando el varón sabe que va a tener relaciones sexuales. ☐ 1 punto
b. Cuando el pene está erecto, antes del contacto con la boca, la vagina o el ano de otra persona. ☐ 5 puntos
c. Antes de eyacular. ☐ 2 puntos
d. Cuando el pene está erecto, y solo cuando tendrá contacto con la vagina de una mujer. ☐ 2 puntos

Figura 1.

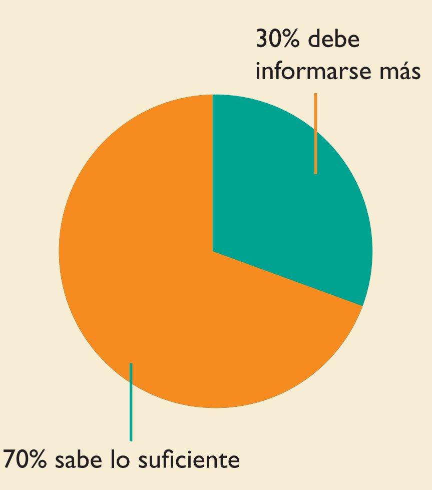
## [RESULTADOS]

Los datos de una encuesta pueden ser analizados de muchas formas. Se pueden analizar por separado las respuestas de los varones y las de las mujeres o las de los distintos grupos de edad que eligieron. Así podrían responder nuevas preguntas.

Una manera útil y práctica de analizar los datos es volcarlos a tablas como la que se muestra en la *Figura 2*.

Deben establecer un criterio antes de analizar la hipótesis; determinen un mínimo de puntos totales que consideren que indican que la persona maneja la información correcta acerca de reproducción y de sexualidad. Se considera que los que hayan sumado un puntaje menor tienen nociones incorrectas sobre estos temas.

Pueden expresar los resultados en gráficos. Esto permite un análisis rápido de los datos.




| | PERSONAS ENCUESTADAS | | | |
|---|---|---|---|---|
| | 1 | 2 | 3 | 4.. |
| EDAD | | | | |
| SEXO | | | | |
| PREGUNTA 1 | | | | |
| Opción a | | | | |
| Opción b | | | | |
| Opción c | | | | |
| Opción d | | | | |
| PUNTOS SUMADOS: | | | | |
| Pregunta 2 | | | | |
| Opción a | | | | |
| Opción b | | | | |
| Opción c | | | | |
| Opción d | | | | |
| Etcétera… | | | | |
| PUNTOS TOTALES: | | | | |

Figura 2.



### ACTIVIDADES

**1.** Repitan el análisis de los resultados, separándolos por edad de los encuestados. Hagan lo mismo separando los datos según el sexo de los encuestados.

**2.** Planteen nuevas hipótesis que puedan aceptar o rechazar con los datos obtenidos en el punto 1.

**3.** En función de los resultados de la encuesta, discutan en clase junto al docente cuáles son los temas sobre los que los adolescentes están mejor informados, y cuáles son los temas sobre los que se maneja información incorrecta.

**4.** Evalúen junto al docente y a las autoridades de la escuela si creen necesario realizar charlas o talleres en los que se traten algunos de los temas encuestados.

## ESTUDIO DE CASO



Lean de nuevo el texto del comienzo del capítulo: "El sexo de las historietas". Allí se relata que en los dibujos animados y en muchos otros casos, se plantea una imagen exagerada de los caracteres sexuales secundarios de los seres humanos.

**1.** De acuerdo con estas caricaturas, ¿existe dimorfismo sexual en los humanos?

**2.** ¿Existe realmente dimorfismo sexual en nuestra especie?

**3.** Elaboren una posible explicación al hecho de que se consideren femeninos los rasgos que se exageran en las caricaturas. ¿Cómo se relacionan esos rasgos con la reproducción?

**4.** En los humanos, ¿existe selección sexual? ¿Solo los machos con determinadas características físicas se reproducen?

**5.** Dada la siguiente afirmación: "la aparición de los caracteres sexuales secundarios está regulada por las hormonas sexuales y en todas las personas se manifiesta a la misma edad y de igual manera". ¿Cuáles conceptos son correctos? ¿Cuáles, no? Justifiquen sus respuestas.

**6.** Asocien los términos de la columna izquierda con los de la columna derecha. Elijan alguno de los pares de conceptos que hayan vinculado y escriban un texto breve que explique por qué los relacionaron.

| | |
|---|---|
| Gran desarrollo craneal | Primates |
| Postura bípeda | Humanos |
| Canal de parto corto | Perros |
| Ciclo menstrual | |
| Ciclo estral | |
| Capacidad de decidir sobre la reproducción y la sexualidad | |

**7.** Mencionen una característica de la reproducción humana que esté presente en los marsupiales, otra que esté presente en los chimpancés y otra que comparta con todos los mamíferos.

**8.** En la siguiente figura, ubiquen y nombren la estructura u órgano donde ocurren los procesos que se enumeran debajo.



a. Ovulación.
b. Fecundación.
c. Formación de hormonas sexuales.
d. Ciclo menstrual.
e. Implantación del cigoto.

**9.** Completen el siguiente cuadro comparativo, indicando para cada ITS el tipo de microrganismo que la produce, la forma en que se transmite y los métodos de prevención.

| | Agente que la causa | Vías de transmisión | Métodos de prevención y/o tratamiento |
|---|---|---|---|
| VIH | | | |
| VPH | | | |
| Sífilis | | | |
| Gonorrea | | | |

**10.** Indiquen, en cada caso, cuál es la opción correcta, de haberla.

a. Los espermatozoides adquieren la capacidad de moverse:
- en los epidídimos.
- en el sistema reproductor femenino.

b. El período fértil de una mujer es:
- durante todo el mes.
- el día de la ovulación.

c. Las pastillas anticonceptivas previenen:
- la fecundación.
- las infecciones de transmisión sexual.

d. Las ecografías permiten:
- seguir el desarrollo del feto durante la gestación.
- diagnosticar con absoluta certeza alteraciones genéticas del feto.

e. La cantidad de ovocitos que produce una mujer es:
- limitada y está determinada desde que nace.
- ilimitada, se multiplican cada mes.

**11.** **Lean los siguientes textos, y respondan a las preguntas que se encuentran a continuación.**

*Martín y Rocío son una pareja que se conoce desde hace unas semanas.*

*Luego de una de sus citas, deciden ir al departamento de Martín. Una vez allí, Martín le propone a Rocío tener relaciones sexuales, propuesta que Rocío acepta de buen grado.*

*Martín recuerda que olvidó comprar preservativos y le pregunta a Rocío si ella toma pastillas anticonceptivas. Roció responde que sí, y mantienen relaciones sin preservativo.*

**a.** ¿Fue correcta la decisión que tomaron? ¿Qué riesgos están asumiendo? ¿Cuál de los dos es responsable de la decisión?

*Valentín y Tamara son una pareja de novios que ya lleva varios años juntos.*

*Antes de encontrarse, Valentín la llama a Tamara y le pide que pase por algún kiosco y compre preservativos, ya que él tiene varias actividades ese día y no tiene tiempo de comprarlos. Tamara, algo enojada, le responde a Valentín que no lo hará, que ese es "un problema de él". Finalmente, un amigo de Valentín le regala un preservativo. Este viene en un envase de color sin ninguna inscripción. A la noche, la pareja tiene relaciones sexuales usando el preservativo que Valentín consiguió.*

**b.** ¿Están de acuerdo con la respuesta de Tamara?
**c.** ¿Creen que fue correcto haber utilizado ese preservativo? ¿Por qué?
**d.** ¿Qué les aconsejarían a Valentín y a Tamara?

**12.** **Luego de haber leído este capítulo, ¿qué aprendieron acerca de la reproducción humana?**

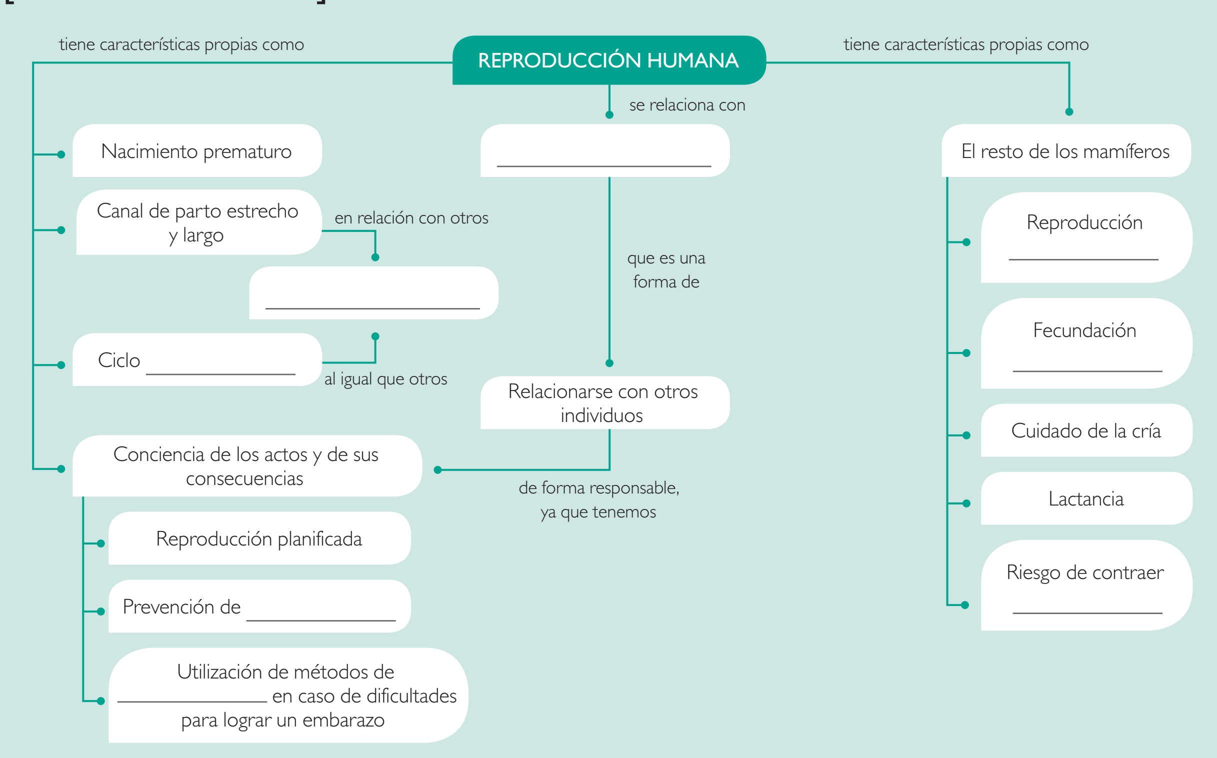
**13.** **Vuelvan sobre la lista que hicieron en respuesta a la segunda actividad del comienzo del capítulo. ¿Coinciden las funciones que les adjudicaron con las que se vieron en este capítulo?**

**14.** **¿Cambió alguna de las ideas que tenían con respecto a los temas del capítulo?**

**15.** **¿Qué tema les interesó más? ¿Por qué?**

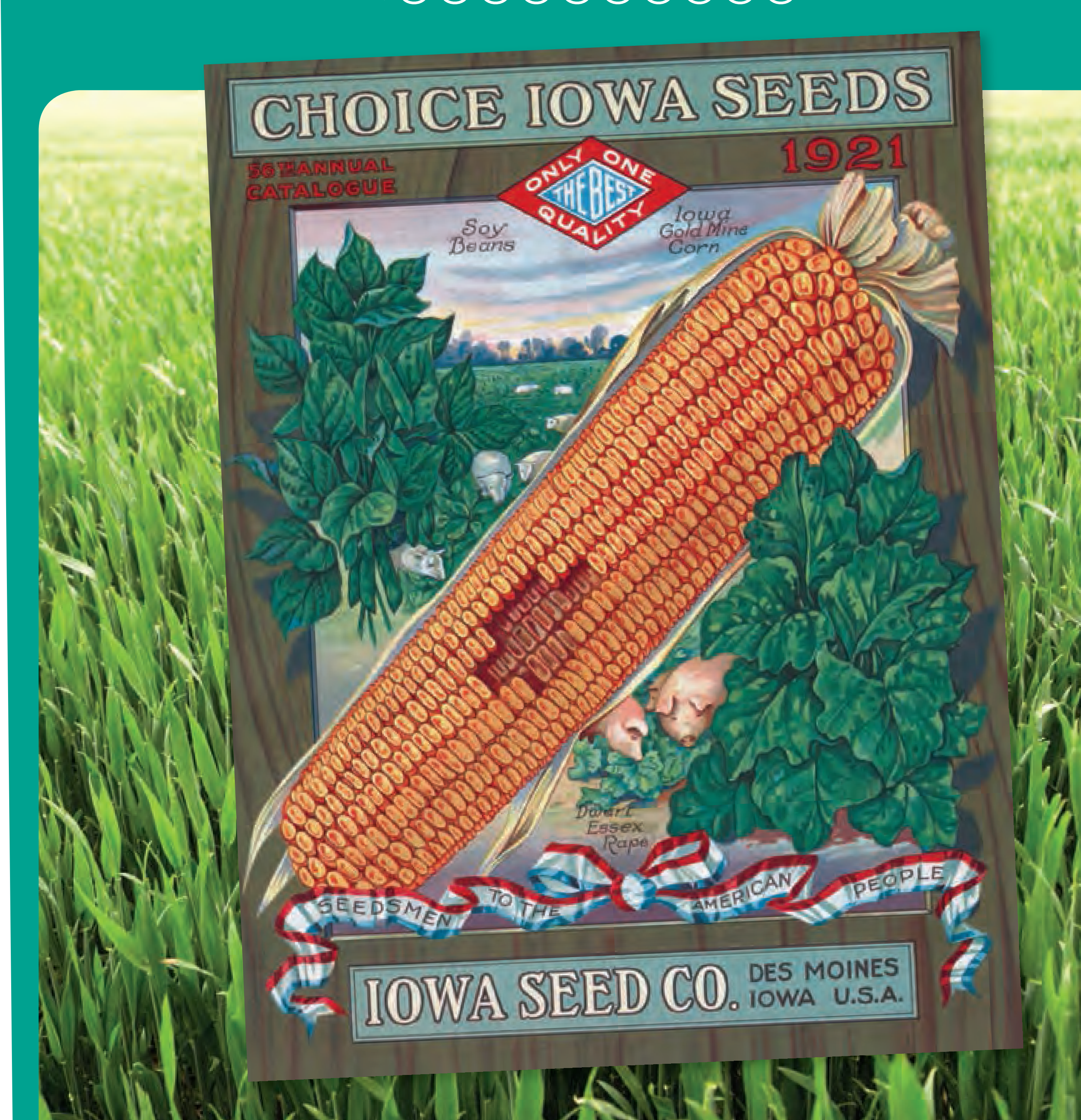
**16.** **¿Qué tema no entendieron? ¿Sobre cuál les gustaría seguir leyendo?**

## [RED CONCEPTUAL]



Contenidos: Los experimentos de Medel • Las leyes de Mendel: ley de uniformidad, ley de la segregación, ley de la distribución independiente • Teoría cromosómica de la herencia • Experimentos de Boveri y Sutton • Experimentos de Morgan • Herencia ligada al sexo • Genotipo y fenotipo • Excepciones a las leyes de Mendel • Genes y cromosomas • Heterocigosis y homocigosis • Reproducción y diversidad • Meiosis

# 8 Los seres vivos y la herencia



# [ESTUDIO DE CASO]



## *Copyright* biológico

Henry Wallace (1888-1965), un emprendedor del estado de Iowa, Estados Unidos, que llegó a ser vicepresidente, se llenó de dinero al darse cuenta de que las leyes de la herencia y la peculiar sexualidad del maíz eran una veta de oro. Con esto revolucionó la forma de hacer negocios en el campo para siempre.

Wallace conocía bien el campo estadounidense. En su juventud, la agricultura estaba dominada por líneas puras de especies, como el trigo, la papa, la cabalaza, etcétera. Las líneas puras de seres vivos son las que dan una progenie homogénea y parecida a los progenitores. Por eso, año tras año los productores pueden separar una parte de las semillas que producen para replantar en la temporada siguiente.

Pero el maíz no es así. Los intentos por obtener una línea pura de maíz conducían a plantas muy pequeñas y con marlos insignificantes. Hasta que algunos científicos tuvieron la idea de cruzar dos líneas puras diferentes. El híbrido de esta cruza tenía plantas grandes y vigorosas, y sus semillas era extraordinarias. Pero la progenie del híbrido era menos rendidora y producía una población de plantas sumamente diferentes y desparejas. Existía, entonces, una homogeneidad en la primera generación de híbridos y una variabilidad extrema en la segunda generación.

Estas dos propiedades implicaban algo inédito que Henry Wallace comprendió de inmediato. Significaba que un granjero, si quería tener un maíz de alto rendimiento, tenía que comprar todos los años semillas nuevas a quien produjese los híbridos. Era imposible replantar lo que había crecido en el campo y obtener un maíz rendidor. Wallace fundó entonces Pioneer Hi-Bred, la primera empresa en comercializar semillas híbridas de maíz. A partir de ese momento, las empresas de semillas comenzaron a crecer hasta volverse gigantes multinacionales. De la mano de las semillas híbridas, el campo comenzó a tecnificarse, convirtiéndose en la sofisticada industria que es hoy.

* Las papas se reproducen asexualmente por tubérculos. ¿Por qué es fácil para un granjero replantar las variedades que crecen en su campo?
* Observen el aviso publicitario de la página 166. Con la ayuda de un traductor *online*, o de un diccionario Inglés-Español, traduzcan los textos del aviso. ¿Qué promociona esta publicidad?
* ¿Por qué la progenie de los híbridos no se parece a las plantas que le dan origen? ¿De dónde provienen estas nuevas características?
* ¿Por qué los hermanos (no gemelos) que provienen de los mismos padres no son idénticos?

›› Describir y explicar fenómenos simples utilizando teorías y observaciones personales.

## Distintas formas de explicar la herencia

Por mucho tiempo, filósofos y naturalistas se preguntaron por qué los individuos emparentados se parecen más entre sí que a los demás. El fenómeno a través del cual los seres vivos transmiten sus características a la descendencia recibe el nombre de **herencia biológica**.

Durante siglos, los naturalistas creyeron que los padres aportaban órganos minúsculos que les daban origen a los de los hijos. Según esta explicación, los hijos eran una "mezcla" de las características de ambos padres, del mismo modo en el que, al mezclar pintura amarilla y pintura roja, se obtiene pintura de color anaranjado, por eso, a esta forma de explicar la herencia se la llamó **teoría de la mezcla**.

A mediados del siglo XIX, Gregor Mendel (1822-1884), un monje nacido en lo que actualmente es la República Checa, comenzó a dilucidar la forma por la cual se produce la herencia. Mendel, además de tener un profundo interés por la naturaleza y por la matemática, era un hábil jardinero y conocía muy bien las plantas de la abadía en la que vivía. Una de estas plantas era la planta de arvejas, llamada *Pisum sativum*. Las plantas de esta especie presentan variedades en cuanto a varias de sus características, como el color de las flores, la textura de las semillas (las arvejas), etcétera. Mendel comenzó a interesarse en la herencia de estas características al querer obtener plantas con flores de un determinado color. Así, comenzó a polinizar unas plantas con flores de un color con el polen de plantas con flores de otro color, y a observar las características de las plantas obtenidas de estos cruces. Luego, realizó cientos de cruzamientos no solo entre plantas con flores de distinto color, sino con plantas que variaban en otras características. Registró meticulosamente las observaciones de las plantas obtenidas en cada generación de cruzamientos, y observó que existía un patrón particular en la herencia de las distintas características.



### CIENCIA **EN LA HISTORIA**

**Un reconocimiento que se hizo esperar**

Los resultados del trabajo de Mendel fueron muy poco difundidos en la comunidad científica de la época. Cuarenta años más tarde, los naturalistas Hugo de Vries (1848-1935), neerlandés; Carl Correns (1864-1933), alemán, y Erich von Tschermak (1871-1962), austríaco, realizaron, de forma independiente, experimentos similares a los del monje, redescubrieron sus publicaciones y llegaron a los mismos resultados. En 1900, ellos enunciaron las leyes conocidas como "Leyes de Mendel", en honor a su antecesor.

» La ciencia como construcción histórica y cultural.



El parecido entre individuos emparentados fue un gran interrogante durante miles de años.



Gregor Mendel.



Jardín de la Abadía de Santo Tomás, en la ciudad de Brno, actual República checa. Aquí trabajaba Gregor Mendel.

## Los experimentos de Mendel

Las plantas de arvejas, o *Pisum sativum*, resultaron ser un modelo ideal para la investigación de Mendel: su ciclo de vida es corto y, en cada cruzamiento, origina numerosos descendientes. Además, al tener flores con órganos masculinos y femeninos, permite una amplia variedad de cruzamientos, incluso la autofecundación de las plantas. La desventaja era que se produjeran autofecundaciones no deseadas al intentar cruzar plantas distintas.

Mendel eligió siete caracteres, con dos variantes cada uno, y estudió el patrón de herencia de cada carácter por vez. Pero antes de comenzar a experimentar con cruzamientos entre distintas variantes de cada carácter, Mendel obtuvo plantas que daban únicamente una de las dos variantes de cada característica elegida (por ejemplo, solo flores púrpuras, o solo semillas lisas). Esto lo consiguió fecundando cada flor con su propio polen y repitiendo el procedimiento por varias generaciones. Llamó **líneas puras** a estas plantas. Cada línea pura consistió en un grupo de individuos que producían descendientes con una única variante o forma de un carácter.

Para cruzar plantas provenientes de distintas líneas puras, Mendel cortaba los estambres de algunas plantas antes de que produjesen polen, así obtenía flores con órganos solamente femeninos. Luego, tomaba estambres de otra planta y esparcía el polen sobre las flores que tenían solo pistilos.

Finalmente, envolvía las flores fecundadas con un lienzo o gasa para evitar su contacto con polen de otras plantas, y esperaba hasta obtener las semillas que daban origen a la nueva generación.



*Mendel trabajó con plantas de la especie* Pisum sativum.

| | Características | | | | | | |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| | semilla | | flor | vaina | | tallo | |
| | forma | color | color | forma | color | posición de las flores | tamaño |
| Variantes | lisa | amarillo | blanca | hinchada | amarillo | axiales | alta |
| | rugosa | verde | púrpura | arrugada | verde | terminales | enana |

*Mendel analizó 7 características.*

### ACTIVIDADES

1. ¿A qué se llama herencia biológica?
2. ¿Qué postulaba la teoría de la mezcla?
3. ¿Qué características de la planta *Pisum sativum* hacen de este ser vivo un modelo propicio para estudiar la herencia?
4. ¿Qué eran las líneas puras y cómo fueron obtenidas?

## Primera ley de Mendel: Principio de uniformidad

Mendel llamó **generación parental** (y lo simbolizó P) a las plantas de las líneas puras que cruzaba. A las plantas hijas de este cruce, las denominó **generación filial 1** (F1), del término en latín *filius*, que significa hijo. A su vez, a los descendientes resultantes de autofecundar las plantas de la F1, los nombró **generación filial 2** (F2).

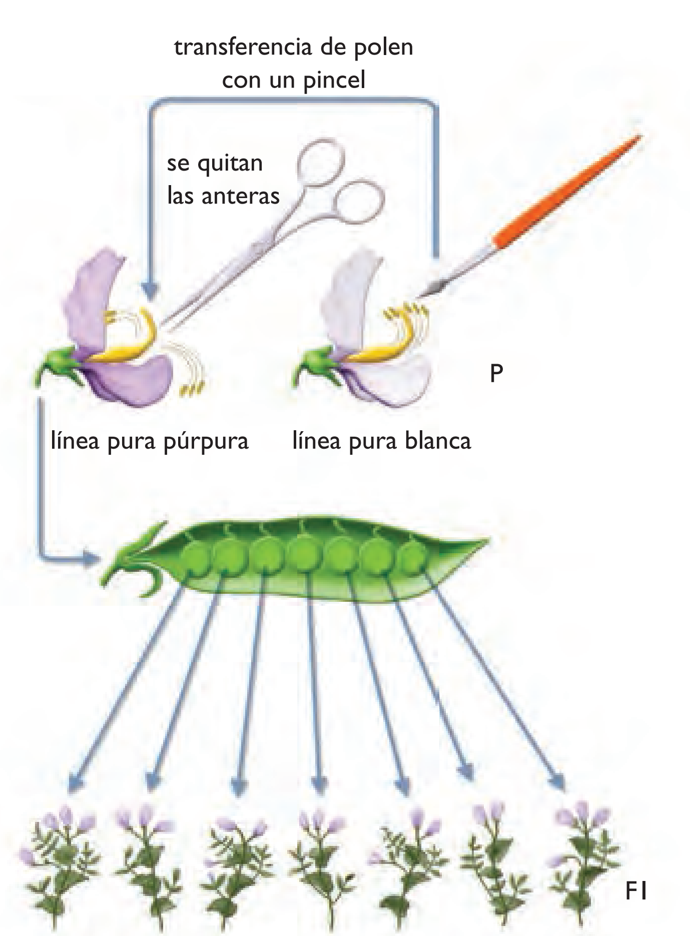
Si bien Mendel trabajó con 7 características distintas y sus variantes, para entender las leyes de la herencia, se usará el color de la flor como ejemplo.

La pregunta que guió inicialmente este tipo de cruzamiento fue: ¿qué pasará al cruzar individuos de la línea pura de flores púrpuras con los individuos de la línea pura de flores blancas?

En sus resultados, observó que la generación F1, obtenida al cruzar dos líneas puras, estaba constituida enteramente por individuos iguales únicamente a una de las generaciones parentales. Es decir, una de las variantes del carácter "desaparecía", y todos los descendientes presentaban la variante de uno de los progenitores. Así, al cruzar líneas puras para el color de flores, todos los individuos de la F1 presentaban flores púrpuras. Esto ocurría tanto si cruzaba machos de flores blancas con hembras de flores púrpuras (a) o viceversa (b).

Mendel concluyó entonces que la teoría de la **herencia mezclada** no era válida ya que, si lo fuera, la generación F1 tendría que haber dado plantas con flores de colores intermedios a los de las líneas puras. A partir de su modelo matemático, Mendel postuló una teoría acerca de un mecanismo biológico que explique el patrón observado. Predijo que los caracteres están determinados por unidades discretas que se heredan intactas entre generaciones. A esta teoría la llamó **herencia particulada**.

A partir de estos resultados, denominó variante **dominante** a la característica que se mantenía en la F1, y **recesiva**, a la que "desaparecía" en este cruzamiento. En el experimento de la imagen, la variante púrpura es dominante sobre la variante blanca, que es recesiva. Para diferenciarlas, se suele simbolizar con una letra mayúscula a la variante dominante, y con la misma letra, pero en minúscula, a la recesiva (P: púrpura; p: blanco).




*A los descendientes del cruzamiento entre dos líneas puras, también se los llama híbridos.*

**Primera Ley de Mendel: Principio de uniformidad**
Cuando se cruzan dos individuos que difieren en un carácter, todos los individuos de la generación filial resultante tendrán el mismo aspecto para dicho carácter, serán idénticos entre sí y se parecerán solamente a uno de los dos padres, al que posea la variante dominante.

## Segunda ley de Mendel: Principio de segregación

Mendel autofecundó las plantas de la generación F1 y obtuvo una segunda generación filial (F2) en las que reapareció el color de flores recesivo: en este caso, el blanco.

La generación F2 estaba compuesta por 3/4 de individuos con flores púrpura y 1/4 de individuos con flores blancas. Es decir, 1 individuo con la variante recesiva por cada 3 individuos con la variante dominante.

Mendel repitió sus experimentos y siempre obtenía la proporción 3:1 de variantes dominantes, con respecto a las recesivas en generación F2, para todos los caracteres que analizó. O lo que es lo mismo, en la F2, el 75% de los individuos presentaba la variante dominante y el 25%, la recesiva.

Mendel dedujo que estos resultados podían explicarse a partir de la combinación de solo dos factores para cada carácter en cada individuo. La relación entre estos dos factores determinaría el aspecto final del organismo. Es decir, que los "factores hereditarios" que había postulado para el mecanismo de la herencia estarían presentes en los individuos parentales de a pares y que, al formarse las gametos, cada una recibiría un integrante del par. En la fecundación, al unirse las gametos y formarse el individuo de la generación filial, volvería a formarse un par y, según la combinación resultante, se establecería el aspecto del descendiente.

### CIENCIA **EN ACCIÓN**

**El científico en su época**

En la época en la que Mendel trabajaba con sus plantas, ya era aceptada la teoría atómica, que postula que la materia está formada por unidades discretas llamadas átomos. También la teoría celular, que propone a la célula como unidad de los seres vivos, comenzaba a tomar fuerza. Ambas teorías se basan en unidades discretas, al igual que los factores de la herencia. Hoy sabemos que esos factores son los genes.

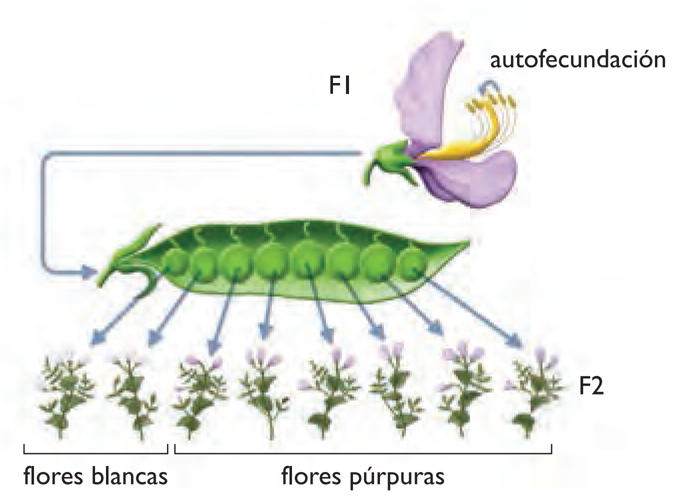
» Relación entre ciencia, tecnología, sociedad y ambiente.

### **ESTUDIO** DE CASO



¿Cómo relacionan las segunda ley de Mendel con lo que les ocurría a los granjeros al plantar las semillas obtenidas en las plantas híbridas de maíz?

» Explicar fenómenos a partir de teorías y observaciones personales.




*Cuando Mendel autofecundó las plantas con flores púrpuras de la F1, se sorprendió al obtener 1/3 de plantas con flores blancas.*

**Segunda ley de Mendel o Principio de segregación**

El par de factores hereditarios que determinan la variante de un carácter se distribuyen separadamente entre las gametos; así, la mitad de las gametos contiene un miembro del par, y la otra mitad contiene el otro miembro. Esto da como resultado que en la F2 aparezcan plantas con la variante recesiva.

### ACTIVIDADES

1. ¿Qué es un híbrido? ¿A qué generación corresponden los híbridos?
2. ¿A qué llamó Mendel variante dominante y variante recesiva?
3. ¿Cuál es la proporción de variantes dominantes con respecto a las recesivas en la generación F2?
4. ¿Qué postula la segunda ley de Mendel?

## Tercera ley de Mendel: Principio de la distribución independiente

Los experimentos de Mendel que se describieron hasta ahora son el resultado de cruzamientos entre líneas puras que se diferencian en la variante de un único carácter. Mendel realizó además cruzamientos entre líneas puras que diferían en dos caracteres, y obtuvo lo que denominó **dihíbridos**. Los dihíbridos son individuos híbridos para dos caracteres diferentes, que corresponden a la generación F1. Por ejemplo, individuos con flores púrpuras y semillas amarillas, ambas variantes dominantes, que surgen del cruzamiento de líneas puras para el color de las flores y para el color de las semillas. Al estudiar estos cruzamientos dihíbridos, Mendel observó un nuevo patrón de herencia.

En particular, Mendel comenzó este análisis con los caracteres color y forma de la semilla de la planta de arveja. Como vimos, los resultados de los cruzamientos híbridos para cada carácter fueron similares. En el caso del color de semilla, la F1 arrojó una proporción 3 amarillos:1 verde. Es decir, la variante amarilla (A) era dominante sobre la verde (a). El carácter forma de la semilla presentaba también dos variantes: liso (R) y rugoso (r). Para este carácter, la variante dominante resultó la forma lisa, ya que la proporción en la descendencia de las líneas puras fue de 3 lisos:1 rugoso.

### CIENCIAS **EN LA NET**

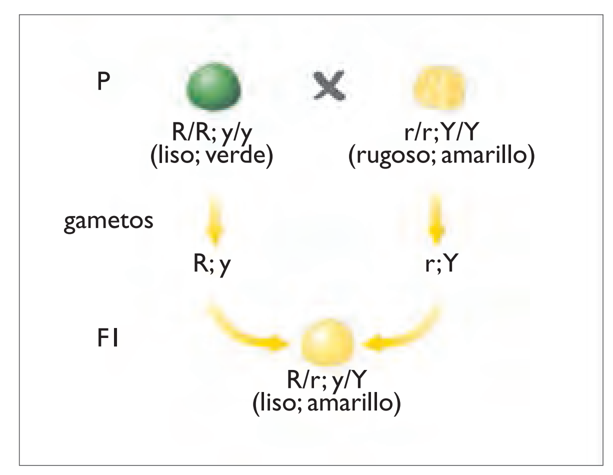


Ingresen a la siguiente página del sitio Educ.ar: http://goo.gl/FWDqQ2.

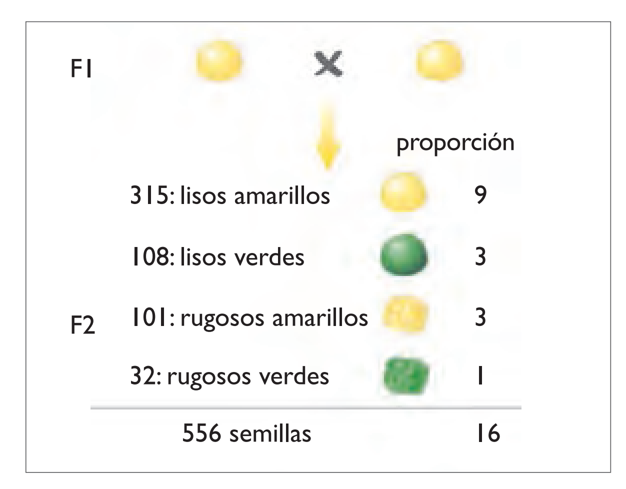
Allí verán una infografía acerca de los trabajos de Gregor Mendel y otros temas relacionados que se verán más adelante en este capítulo.

>> Uso de TIC en el análisis de modelos científicos.

Para realizar los cruzamientos dihíbridos, Mendel partió de dos líneas parentales puras. Una línea pura tenía semillas amarillas y rugosas, y la otra, semillas verdes y lisas. En la F1, todos los individuos tenían apariencia dominante para ambos caracteres. Esto demostró que la dominancia de la variante de un carácter no se veía afectada por la presencia de la variante dominante del otro carácter. Luego, realizó los cruzamientos entre los individuos dihíbridos de la F1 entre sí, para obtener la F2. Las semillas de la F2 eran de cuatro tipos: 9/16 semillas lisas y amarillas; 3/16 semillas lisas y verdes; 3/16 semillas rugosas amarillas; 1/16 semillas rugosas verdes.




La generación F1 estaba constituida en un 100% (4/4) por plantas con semillas amarillas y lisas.




En la F2, Mendel observó una proporción 9:3:3:1.

Esta proporción 9:3:3:1 que Mendel observó en la F2 resultó bastante inesperada, y parece mucho más compleja que la obtenida en los cruzamientos de individuos híbridos para un solo carácter, que estaba constituida por un organismo con la variante recesiva por cada tres que presentaban la variante dominante (3:1).

| Color semilla/forma semilla | Amarilla | Verde |
|---|---|---|
| Lisa | 9/16 | 3/16 |
| Rugosa | 3/16 | 1/16 |

*En este cuadro de doble entrada, se pueden observar los datos del experimento de Mendel con los individuos de la F2 de su cruce con los individuos dihíbridos.*

Antes de intentar encontrar una explicación para estos resultados, Mendel repitió el experimento, pero tomando otras combinaciones de pares de caracteres, es decir, analizó las proporciones de las variantes en otros dihíbridos, originados a partir de líneas puras para dos caracteres diferentes. Así, encontró que todas las generaciones F2 producían individuos según la misma relación 9:3:3:1, al igual que había obtenido para el color y la forma de las semillas.

Para intentar simplificar los resultados, Mendel estudió si se mantenían las proporciones esperadas en la F2 considerando un único carácter. Primero, sumó el número de individuos de la F2 con cada variante de cada carácter. Por ejemplo, con respecto a la forma de la semilla, había 133 rugosas (101+32) y 423 lisas (315+108). Luego, dividió el mayor valor (423) por el menor (133), y observó que la proporción era aproximadamente 3:1. Con respecto al color de la semilla, obtuvo 416 amarillas (315+101) y 140 verdes (108+32); en este caso, la proporción también es alrededor de 3:1. Otra forma de realizar este análisis es a partir de las proporciones obtenidas:

9/16 + 3/16 = 3/4 de semillas lisas
3/16 + 1/16 = 1/4 de semillas rugosas

9/16 + 3/16 = 3/4 de semillas amarillas
3/16 + 1/16 = 1/4 de semillas verdes

De este modo, Mendel se dio cuenta de que si se analizan los dos caracteres (color de la semilla y aspecto de la semilla) de manera individual, la proporción 3 a 1 se mantenía. A partir de estos resultados, unos años más tarde, se enunció la tercera ley de Mendel.

*Las semillas de* Pisum sativum *presentan distintas variantes.*

**Tercera Ley de Mendel o Principio de distribución independiente**

La autofecundación de individuos de la generación F1, provenientes de generaciones parentales que difieren en dos o más caracteres, genera individuos en iguales proporciones de cada variante para cada carácter; esto significa que cada carácter se transmite independientemente de los demás.

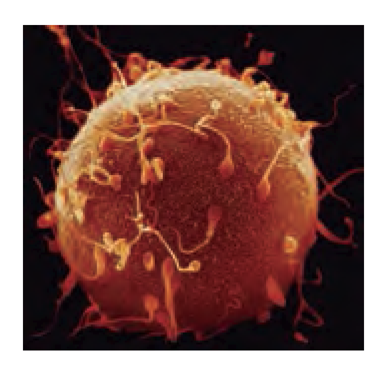
ACTIVIDADES

1. ¿Qué significa "dihíbrido"?
2. ¿A qué conclusión llegó Mendel a partir de los experimentos con individuos dihíbridos?
3. De a dos compañeros, conversen sobre estos resultados e intenten explicarlos según la segunda ley de Mendel.

# La teoría cromosómica de la herencia

Mendel realizó sus experimentos suponiendo que existían factores hereditarios, que pasaban de una generación a la siguiente y se expresaban en los individuos, pero nunca observó estos factores directamente. A partir de los conceptos que surgían de los principios de uniformidad y de segregación, fue capaz de predecir las variantes en cada generación y en qué proporción aparecerían. Sin embargo, muchas preguntas continuaban sin poder responderse. ¿Qué eran estos factores hereditarios? ¿En qué parte de la célula se encontraban? ¿De qué manera se produce la segregación y la distribución de los factores hereditarios?

En esos casi cincuenta años entre los ensayos de Mendel y el redescubrimiento de las leyes de la herencia, los científicos abordaron estos interrogantes de maneras muy diversas. Una de las razones de esta variedad de perspectivas era que, en aquel momento, la difusión de los trabajos era muy limitada, en comparación con la actualidad: la comunicación era muy lenta (tengan en cuenta que recién se inventaba el automóvil, es decir, que el correo se transportaba en vehículos movidos por animales o en barco) y, en muchos casos, la distribución de los avances realizados en los laboratorios quedaba restringida a la parte del mundo donde estos se encontraban. En el caso de la herencia, a diferencia de Mendel, que estudió de forma estadística la manifestación de los factores hereditarios, muchos investigadores se enfocaron en descubrir su naturaleza física y su ubicación en las células. Un lugar evidente donde buscarlo eran las gametos, ya que constituyen la única conexión entre los progenitores y la descendencia. Por otra parte, como el tamaño del óvulo es mucho mayor que el del espermatozoide, resultaba poco probable que este material hereditario se encontrase en el citoplasma. Con base en este razonamiento, el núcleo parecía un buen lugar para empezar a investigar.



*Las investigaciones sobre la ubicación del material hereditario se centraron en el núcleo de las gametos.*

Al poco tiempo de comenzada la búsqueda de los factores hereditarios, la atención estaba puesta en los **cromosomas** ("cromo" significa color, y "soma", cuerpo), unas estructuras presentes en el núcleo celular, que se teñían fácilmente con los colorantes utilizados para la observación al microscopio (de ahí su nombre). Además, al analizar las células de distintos individuos de una misma especie, los investigadores observaban que el número y la forma de cromosomas era la misma en las células del cuerpo de todos los individuos de la especie a lo largo de varias generaciones.



## CIENCIA **EN ACCIÓN**

La ciencia es una actividad social que involucra al conjunto de la sociedad, y constituye uno de los pilares para su desarrollo.

Los investigadores publican sus trabajos para darlos a conocer. De esta manera, se aporta material que dará origen a nuevas investigaciones, o que podrá ser aplicado de manera directa en el desarrollo de técnicas o productos que pueden ser aprovechados por la sociedad en general. En principio, esta información se difunde hacia otros colegas. Esto se realiza a partir de la publicación de artículos en revistas especializadas, donde se utiliza un lenguaje técnico, y la información se encuentra organizada de manera estructurada. Cualquier artículo que se publique en una revista especializada es, en efecto, científico, dado que fue evaluado y aprobado por varias personas que pertenecen a esa comunidad.

›› La ciencia en relación con la tecnología y la sociedad.

## Los factores mendelianos y los cromosomas

En 1902, el estudiante estadounidense Walter Sutton (1877-1916) y el biólogo alemán Theodor Boveri (1862-1915) estudiaron el comportamiento de los cromosomas durante la gametogénesis (ver capítulo 6), y llegaron a las mismas conclusiones, de manera independiente.

### EXPERIMENTOS EN PAPEL



**¿Los factores hereditarios de Mendel se encuentran en los cromosomas?**

HIPÓTESIS: los factores de los caracteres hereditarios observados por Mendel se localizan en los cromosomas presentes en el núcleo celular.

PREDICCIÓN: si los factores hereditarios se encuentran físicamente en los cromosomas, entonces el "comportamiento" de estas estructuras debería poder explicar lo que observó Mendel.

PROCEDIMIENTO: Sutton y Boveri, separadamente, observaron el comportamiento de los cromosomas durante la formación de las gametos o gametogénesis, cuando la cantidad de cromosomas en la célula se reduce a la mitad. Luego, compararon sus observaciones con las predicciones de Mendel, en particular, con el principio de segregación.

| | Factores mendelianos | Cromosomas |
|---|---|---|
| Apareamiento cromosómico | A<br>a | |
| Segregación | A<br>a | |
| Distribución independiente | A B ó A b<br>a b a B | |

RESULTADOS: Sutton y Boveri observaron que los cromosomas están presentes de a pares, es decir, cada célula tiene dos cromosomas similares de cada tipo. Durante la gametogénesis, los cromosomas se juntan o aparean con su compañero y luego, se separan de manera que cada integrante del par se dirige a un polo opuesto de la célula y, finalmente, forma parte de un gameto diferente. Además, notaron que cada cromosoma segrega independientemente del resto.

CONCLUSIÓN: la similitud entre el comportamiento de los cromosomas y de los factores hereditarios que mencionaba Mendel señalaba que esos factores hereditarios se encuentran en estas estructuras celulares.

>> Análisis de experimentos históricos.

De esta manera, se logró la fusión entre las unidades invisibles que constituían los factores hereditarios de Mendel y las estructuras visibles llamadas cromosomas. A esta idea se la llama **teoría cromosómica de la herencia**. A pesar de que hoy en día puede resultar un planteo evidente, durante muchos años, se produjo una gran controversia acerca de su validez, ya que a principios del siglo xx, los factores hereditarios para los genetistas eran una idea abstracta, y los cromosomas para los citólogos (científicos que estudian la célula) eran solo cuerpos que se teñían fácilmente.

### ACTIVIDADES

1. ¿Cuál fue la importancia de la teoría cromosómica de la herencia?

2. ¿Qué relación existe entre las observaciones de Sutton y el segundo principio de Mendel?

3. ¿Les parece que en la actualidad ocurre con frecuencia que distintos grupos de investigación descubran los mismos fenómenos de manera independiente, como les sucedió a Darwin y a Wallace, a Mendel y a De Vries, y a Sutton y a Boveri, por ejemplo? ¿Por qué?

4. Vuelvan a observar las ilustraciones de cada uno de los cruzamientos de Mendel y expliquen los resultados a partir de la teoría cromosómica de la herencia.

## Las leyes de Mendel y el sexo de los individuos

El estadounidense Thomas Hunt Morgan (1866-1945) fue un científico que estudió la herencia de los caracteres en animales. En 1907, Morgan empezó a emplear un insecto llamado *Drosophila melanogaster* o mosca de la fruta, que tiene cuatro pares de cromosomas.

La mosca de la fruta normalmente tiene los ojos rojos; sin embargo, Morgan encontró individuos con los ojos blancos. Para estudiar la herencia de este carácter, Morgan realizó los cruzamientos a partir de líneas puras, igual que había hecho Mendel.




*La mosca de la fruta* Drosophila melanogaster *tiene cuatro pares de cromosomas; los cromosomas de tres de esos pares son similares entre sí, pero los del cuarto par son similares en las hembras y diferentes en los machos.*



### EXPERIMENTOS EN PAPEL

**¿El carácter "color de ojo" de la mosca de la fruta se hereda según los principios de Mendel?**

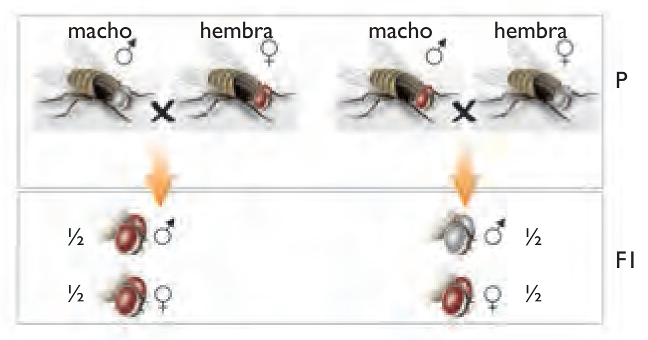
HIPÓTESIS: el color de ojos rojo es dominante sobre el color blanco, y la proporción de individuos con cada variante en cada cruzamiento es igual a la obtenida por Mendel con las plantas *Pisum sativum*.

PREDICCIÓN: si se cruza una línea pura de moscas con ojos rojos con otra que presenta ojos blancos, los descendientes tendrán todos ojos rojos, tanto si se cruzan machos de ojos blancos con hembras de ojos rojos como a la inversa.

PROCEDIMIENTO: Morgan obtuvo líneas puras para el carácter color de ojos. Luego, realizó el cruzamiento de machos de ojos rojos con hembras de ojos blancos, y de machos de ojos blancos con hembras de ojos rojos. Además de registrar la variante que presentaba cada individuo de la F1, anotó su sexo, es decir, si eran machos o hembras.

RESULTADOS: en la F1 obtuvo las proporciones de individuos con cada variante del carácter que se muestran en la figura.

CONCLUSIÓN: Morgan sabía, por los resultados de otros investigadores, que los cromosomas de los machos y de las hembras no eran exactamente iguales, sino que diferían en un par. En el caso de la mosca de la fruta, mientras que las hembras presentaban 4 pares de cromosomas iguales entre sí, en los machos había un par en el que los cromosomas diferían en su forma. Con base en el aspecto de estos cuerpos al microscopio, se los llamó cromosoma X y cromosoma Y. Es decir, las hembras poseían un par de cromosomas X, y los machos, un cromosoma X y otro Y, que se comportaban como miembros del mismo par durante la segregación. A partir de esta información, y sobre la base a sus propios resultados, Morgan propuso, en primer lugar, que los cromosomas X e Y determinaban el sexo de la mosca. Por otra parte, concluyó que el factor hereditario del color de ojos se encontraba en este par de cromosomas, particularmente, en el cromosoma X. De esta manera, su herencia no seguía las proporciones esperadas según los principios de Mendel, sino que dependía del sexo de cada tipo de parental.

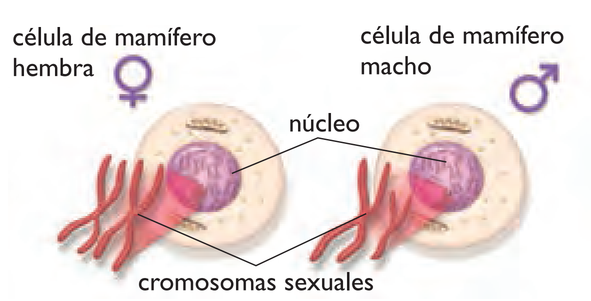



Análisis de experimentos históricos.

## Los cromosomas sexuales

Al igual que en las moscas, en los mamíferos el sexo de un individuo está determinado por un par de cromosomas homólogos muy particular. Las hembras tienen dos cromosomas X, uno proveniente de la madre y el otro, del padre. Los machos tienen un cromosoma llamado X heredado de la madre y otro llamado Y, proveniente del espermatozoide del padre. Si bien los pares XX o XY son miembros del mismo par de cromosomas, no tienen exactamente la misma información: el cromosoma Y es mucho más pequeño, y tiene los factores que determinan que un individuo tenga carácter masculino. Si el cromosoma Y no está presente, el individuo será femenino.

En los organismos en los cuales el sexo está determinado por la presencia o ausencia del cromosoma Y, una hembra solo puede dar gametos con cromosomas X, en cambio los machos pueden dar gametos X o gametos Y (un 50% de cada tipo). Es por eso que la probabilidad de que un individuo nazca macho o hembra es del 50% para cada caso, y está dada por el espermatozoide. En otros organismos, el sexo está determinado de otra manera.




*El par de cromosomas sexuales en los seres humanos se conoce como el par X e Y, por la forma que tienen.*

| | | espermatozoide ♂ | |
|---|---|---|---|
| | | X | Y |
| óvulo ♀ | X | X X ♀ | X Y ♂ |
| | X | X X ♀ | X Y ♂ |

*La probabilidad de engendrar un hijo varón o una hija mujer es del 50%, y está dada por el tipo de espermatozoide que intervenga en la fecundación, ya que el óvulo de la madre siempre va a aportar un cromosoma X.*

## Herencia ligada al sexo

Existen varias condiciones determinadas por factores en los cromosomas sexuales. La hemofilia es una enfermedad que impide que la sangre coagule y que se produzca la cicatrización. Las personas hemofílicas, ante una herida, corren el riesgo de desangrarse. El factor heredable responsable de la coagulación se encuentra en el cromosoma X, la variante dominante es "sano" y la variante recesiva, "hemofílico". Si el individuo es mujer, tiene dos copias del factor, y será hemofílica solo si ambas son recesivas. Si el individuo es un hombre, bastará con que en su cromosoma X tenga la variante recesiva para ser hemofílico, debido a que el cromosoma Y no posee este factor. También, la capacidad de distinguir los colores radica en un factor presente solo en el cromosoma X. La variante recesiva provoca daltonismo (individuos que no distinguen todos los colores); es por eso que en los varones hay una probabilidad más alta de daltonismo. Este tipo de fenómenos se conoce como herencia ligada al sexo, y la manera de determinar que un factor esté en el cromosoma X es realizar cruzamientos recíprocos entre dos líneas puras: primero, utilizando machos de la primera y hembras de la segunda y luego, viceversa, y observando el fenotipo de la descendencia en cada caso. Si las proporciones no coinciden, significa que el gen estudiado está en el cromosoma X.

*La personas que pueden distinguir un número en este esquema, ven normalmente; las que no, son daltónicas.*

### ACTIVIDADES

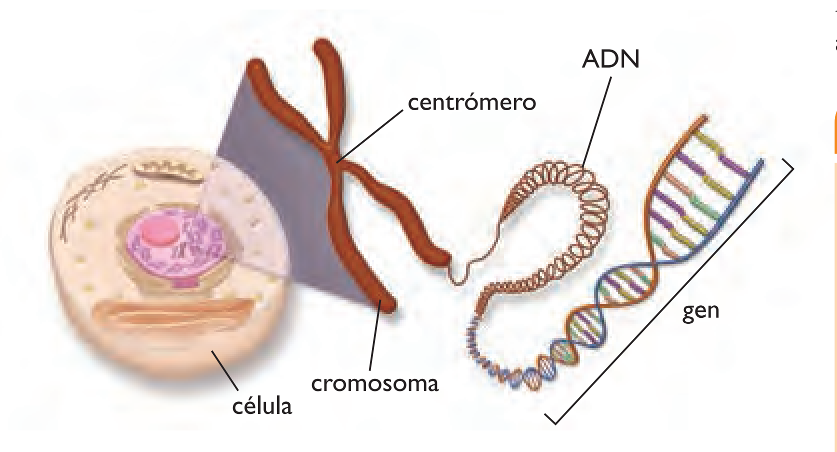
1. Redacten un párrafo donde expliquen los resultados del experimento de Morgan.
2. ¿Qué es la herencia ligada al sexo?
3. ¿Por qué método puede saberse si un gen está en el cromosoma X?

## Genes y cromosomas

Cuando Sutton demostró que los cromosomas eran los factores hereditarios de Mendel, surgió un problema: no había suficientes cromosomas distintos para cada una de las características que presenta un individuo.

El biólogo inglés William Bateson (1861-1926) señaló que no todas las características se heredaban de manera independiente, como postula la tercera ley de Mendel, muchas se transmitían juntas. De este modo, concluyó que un cromosoma contenía una serie de factores. Por casualidad, Mendel había elegido siete caracteres que estaban, cada uno, en un cromosoma diferente.

Los cromosomas son moléculas de ADN. Durante los procesos de división celular, están "empaquetados" y asociados a algunas proteínas que los mantienen compactos y visibles al microscopio. Actualmente, se denomina **gen** a la porción del cromosoma que puede ser "leída" por la célula y que tiene la información necesaria para fabricar una molécula (por lo general, una proteína) que intervenga en el funcionamiento o en la forma del organismo. Existen genes que tienen información para aprovechar determinado alimento, otros que determinan qué color de ojos tenemos, o si somos propensos a alguna enfermedad, etcétera.




*Los genes son porciones de ADN, dentro de los cromosomas, que a su vez se encuentran dentro de las células que forman el cuerpo de los seres vivos.*

## Las variantes de un gen: los alelos

Cada gen tiene una ubicación particular en un determinado cromosoma. Esa ubicación se denomina ***locus*** (como se trata de una palabra latina, *loci* es el plural de *locus*). Para cada gen existen variantes, por ejemplo, el *locus* correspondiente al gen del color de ojos de una mosca está ubicado en el mismo lugar del mismo cromosoma de todas las moscas, pero algunos tienen instrucciones para fabricar ojos de color blanco, otros para ojos de color rojo y otros para ojos de color negro. Estas variantes para un mismo gen son llamadas **alelos** o **variantes alélicas**.

Los organismos o las células que tienen un solo alelo para cada gen (o un solo juego de cromosomas) se denominan **haploides**. Los organismos o células que tienen dos alelos para cada gen (o dos juegos de cromosomas) se denominan **diploides**. Cada especie tiene un número determinado de cromosomas, cada uno de esos cromosomas posee información particular. El ser humano es un organismo diploide, y tiene 46 cromosomas (23 pares) en todas las células del cuerpo, a excepción de las gametos, en las que tiene 23 cromosomas. Cada par de cromosomas posee los mismos *loci*, pero distintos alelos. El cigoto se forma a partir de las gametos de los progenitores, y cada gameto aporta la mitad del número de cromosomas que tendrá el organismo adulto en las células de su cuerpo.

CIENCIA **EN LA HISTORIA**

### Un nombre para los factores: los genes

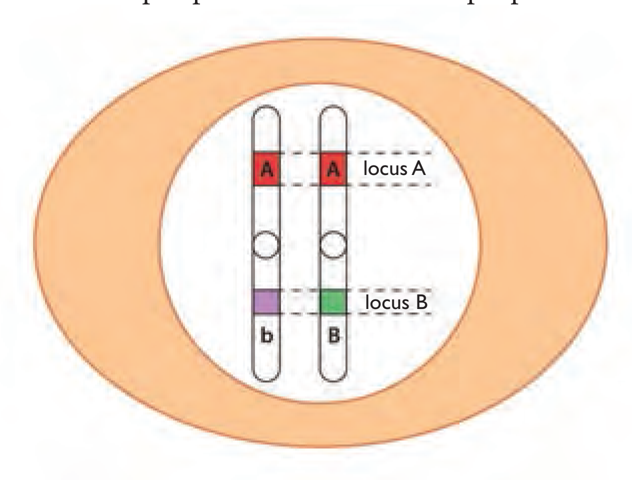
A partir del trabajo de Morgan con la mosca del vinagre, quedó demostrado que cada cromosoma portaba una cadena de muchas unidades de herencia. Para referirse a esas unidades (a las que Mendel había denominado factores o factores hereditarios) de manera concisa, en 1909, el botánico danés Wilhelm Ludving Johannsen (1857-1927) sugirió el témino "genes".

›› La ciencia como construcción histórica y cultural.

## Genotipo y fenotipo

La información de un gen no se expresa todo el tiempo ni en cualquier circunstancia, y muchas veces ni siquiera se expresa. La morfología y la fisiología de un individuo están determinadas por la compleja interacción de la mayoría de sus genes y, a su vez, por la de estos con el medio. Dichas morfología y fisiología también son consideradas el fenotipo del organismo, es decir, que el fenotipo es el producto de los genes que podemos "observar".

Se denomina **fenotipos** a las formas que puede tomar un carácter. Si hablamos, por ejemplo, del carácter "altura de la planta de arveja", los fenotipos posibles son alta o enana (o las distintas longitudes medidas en centímetros), y si estamos observando el carácter "color de las flores", los fenotipos posibles son: blanco o púrpura.




*Esquema de una célula con dos* loci, a *y* b. *Para el* locus *a, posee dos alelos iguales; para el locus b, posee dos alelos distintos.*

El conjunto de la información genética que posee un individuo, ya sea que se exprese o no durante su vida, se denomina **genotipo**. El genotipo es, en su más amplia definición, la información que el individuo es capaz de transmitir a su descendencia, la manifieste durante su vida o no. Los genetistas, al hablar de genotipo, se refieren también a la información que aportan los dos alelos de cada gen.

El fenotipo es un concepto relativo que puede depender de las condiciones del ambiente, de tal modo que ciertas características de un individuo pueden "acomodarse" a determinadas condiciones externas. Sin embargo, lo que en general no puede ser modificado por las condiciones externas es el genotipo del individuo.

A su vez, existen ciertos factores, como la radiación, que pueden llegar a producir mutaciones en nuestros cromosomas; es decir, pueden modificar el genotipo. Por lo general, estos efectos se reducen a algunas células del organismo y no modifican de la misma manera todo su genotipo. Si las modificaciones se producen en células del cuerpo, los efectos los sufrirá solo el individuo. Si se producen en las gametos, los efectos pueden ser heredados por la descendencia.



*El grupo sanguíneo de una persona (que puede ser A, B, AB o 0) no varía con las condiciones del ambiente, está determinado completamente por sus genes.*

### ACTIVIDADES

1. Expliquen los siguientes conceptos: cromosoma, gen, *locus*, alelos.
2. ¿Por qué son importantes los genes? ¿Se expresan todo el tiempo?
3. ¿A qué se llama célula haploide, y célula diploide? Ubiquen en estas categorías a los gametos y al cigoto.
4. ¿Cuántos pares de cromosomas tienen las células del cuerpo de un ser humano?
5. ¿Cuántos alelos distintos de cada gen puede tener un individuo diploide? ¿Y uno haploide?
6. ¿Es lo mismo fenotipo que genotipo? ¿Por qué?

## Heterocigosis y homocigosis

Los organismos diploides, como las moscas, las arvejas y los seres humanos, poseen un par de cada cromosoma. En estos casos, si ambos alelos de un carácter son iguales, se dice que el individuo es **homocigota** para ese locus o ese carácter. En cambio, si los alelos son distintos, el individuo es **heterocigota** para ese locus.

Si para un carácter determinado se manifiesta un fenotipo dominante, existen dos posibilidades: que ambos alelos tengan la información de la variante dominante (el individuo es homocigota dominante), o que uno de los alelos tenga información para la variante dominante y el otro, para la variante recesiva (el individuo es heterocigota). Si el fenotipo que se manifiesta es el recesivo, implica que para ese gen el individuo es homocigota recesivo, y no existe otra posibilidad. Un genotipo homocigota dominante se simboliza con dos iniciales mayúsculas, por ejemplo: AA, un genotipo heterocigota se simboliza con una inicial mayúscula y una minúscula: Aa, y uno homocigota recesivo, con dos iniciales minúsculas: aa.

Como vimos, cuando se descubrió el rol que jugaban los cromosomas en el mecanismo de la herencia, el modelo de Mendel fue reinterpretado. Así surgió la teoría cromosómica de la herencia. Las líneas puras obtenidas por Mendel para cada carácter eran plantas homocigotas dominantes u homocigotas recesivas. Las primeras, al realizar la gametogénesis, dieron únicamente gametos con alelos dominantes, mientras que las segundas dieron gametos con alelos recesivos. La generación F1, por lo tanto, portaba un alelo dominante y otro recesivo, es decir, era heterocigota en su totalidad, por lo que se manifestó el fenotipo dominante (primera ley: de uniformidad). Durante la gametogénesis, cada cromosoma del par termina en gametos distintos. Las plantas de la F1 producirán un 50% de gametos con alelos dominantes y un 50% de gametos con alelos recesivos. Al unirse dichos gametos, existen tres combinaciones posibles: 1/4 de hijos homocigotas dominantes, 2/4 de hijos heterocigotas, y 1/4 con homocigotas recesivos. Estos últimos serán los únicos que manifiestan el fenotipo recesivo, los restantes expresarán el fenotipo dominante, y es esa la proporción 3:1 que observó Mendel (segunda ley: del principio de segregación). Si dos genes, responsables de dos caracteres diferentes, se encuentran en pares de cromosomas distintos (tal es el caso de los caracteres que estudió Mendel), se separarán independientemente uno del otro durante la meiosis (tercera ley: de segregación independiente).

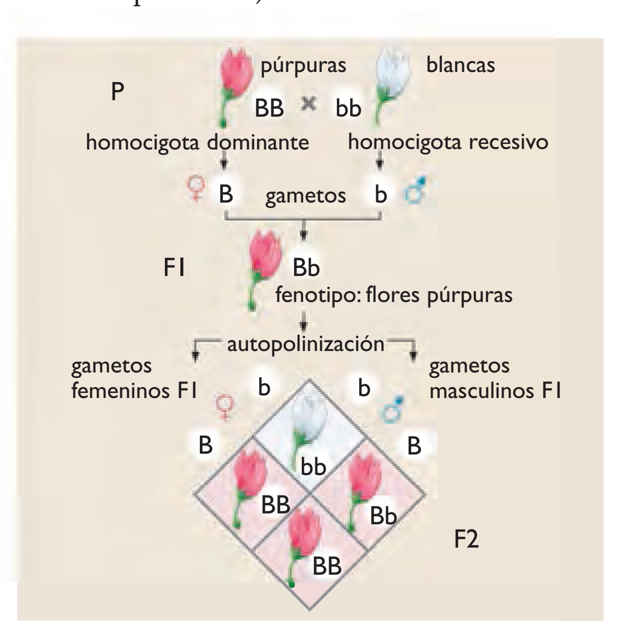


CIENCIAS **EN LA NET**

Ingresen al sitio http://goo.gl/r7wvlk.

Analicen los cruzamientos entre ranas verdes y grisáceas. Anticipen qué proporciones se esperan en cada cruzamiento, el genotipo y el fenotipo de los individuos. Luego, accionen el simulador y comparen sus resultados.

» Uso de TIC en el análisis de modelos científicos.

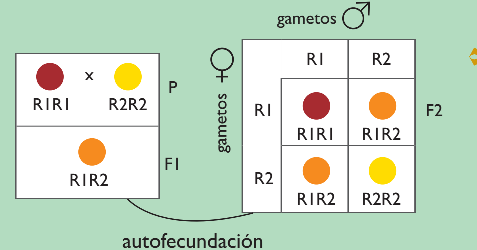



*En el cruzamiento que realizó Mendel, el color púrpura de las flores (P) era dominante sobre el color blanco (p). Por eso, los individuos con genotipo Pp presentan la variante del fenotipo dominante.*

## Excepciones a las leyes de Mendel

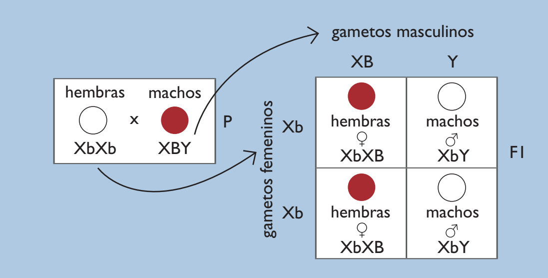
En muchos caracteres, las variantes dominante y recesiva no son tan claras como en los siete caracteres estudiados por Mendel. Estos casos no invalidan las conclusiones de Mendel, quien produjo una base general para el estudio de la genética de los organismos que sirvió a otros investigadores, y sobre la cual se realizaron modificaciones que incluyen la descripción de este tipo de fenómenos.

Cuando existe **dominancia incompleta** entre dos alelos, el fenotipo de la F1 resulta una combinación de los fenotipos parentales, por lo que no se cumple la Ley de Uniformidad. Lo que se manifiesta como mezcla es el efecto del producto de la expresión de estos alelos (por ejemplo, dos pigmentos distintos).



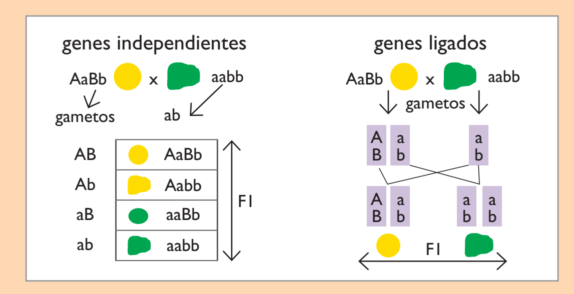

*En estos casos, los individuos heterocigotos poseen un fenotipo intermedio entre ambos.*

Los genes que se encuentran en los **cromosomas sexuales** tampoco siguen las proporciones descriptas por Mendel, ya que el fenotipo de la descendencia depende del sexo del parental con el fenotipo dominante.




*Si un alelo está localizado en el cromosoma X, los machos no siguen las proporciones de Mendel, ya que los heterocigotas, presentan fenotipo recesivo.*

Si dos genes están muy cerca en el mismo cromosoma, siempre quedarán en el mismo gameto, por lo que no se cumple la Ley de Segregación Independiente de dos caracteres distintos. Estos genes están **ligados**.




*Si dos genes están ligados, no se observará la proporción que vio Mendel en los cruzamientos con dihíbridos.*





### CIENCIA **EN LA HISTORIA**

**El tablero de Punnett**

El biólogo inglés Reginald Punnett (1875-1967) ideó una tabla que permite analizar la descendencia de un cruzamiento de manera simple. En las columnas se colocan los alelos que puede generar un parental y, en las filas, los que puede producir el otro parental. En las casillas se forman todos los genotipos posibles para la descendencia y la probabilidad de cada uno.

» La ciencia en el contexto histórico.

### ACTIVIDADES

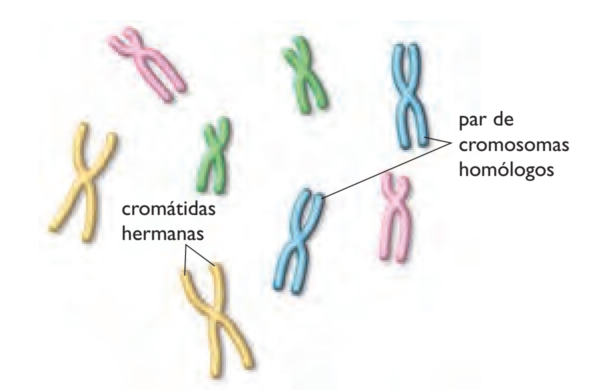
1. Si un individuo tiene fenotipo dominante, ¿significa que es homocigota dominante para ese carácter? Justifiquen.

2. Analicen los cruzamientos de Mendel donde observó el color y la forma de las semillas de arveja teniendo en cuenta el fenotipo y el genotipo de cada individuo. Utilicen el tablero de Punnett para predecir los genotipos y los fenotipos de cada nueva generación.

# Meiosis

Las gametas, producidas por gametogénesis, tienen la mitad de los cromosomas que las células que les dan origen. Esto se consigue mediante un tipo de división celular llamada **meiosis**, que consiste en dos divisiones consecutivas, lo que da como resultado cuatro células. En el caso de los humanos, la meiosis se lleva a cabo en las gónadas, de una célula con dos juegos de cromosomas (célula diploide con 46 cromosomas) se obtienen cuatro con un solo juego (células haploides con 23 cromosomas).

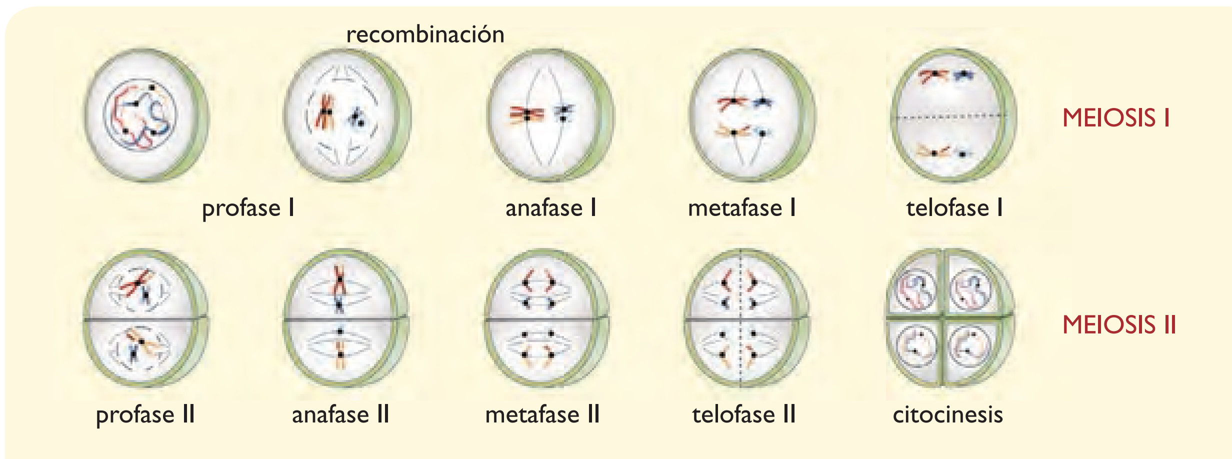
Una célula que entra en meiosis cuenta con un número de pares de cromosomas que es característico de su especie, y con dos copias para cada integrante del par. A los integrantes de cada par de cromosomas se los llama **cromosomas homólogos**, estos no son idénticos entre sí debido a que uno proviene del padre y otro de la madre del individuo, pero poseen el mismo tipo de información. A las dos copias de cada miembro del par se las denomina **cromátidas hermanas**, estas copias son producidas antes de la meiosis, tal como ocurre con la mitosis. Las cromátidas hermanas sí son idénticas entre sí.




*Representación esquemática de los pares de cromosomas homólogos de una especie con 8 cromosomas.*

Si bien la meiosis es un proceso continuo, se la divide en varias etapas para estudiarla mejor. La primera división se llama meiosis I y es en la que se separan los cromosomas homólogos. La segunda se llama meiosis II, y es en la que se separan las cromátidas hermanas.



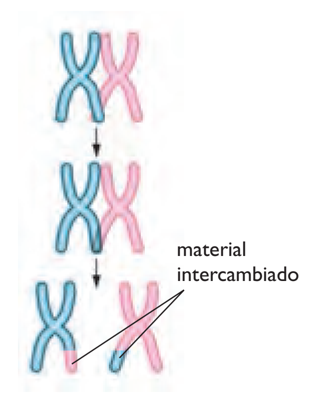



**Profase I:** el núcleo desaparece, y los cromosomas se hacen visibles al microscopio. Cada cromosoma se junta con su homólogo, y se produce el entrecruzamiento, donde intercambian fragmentos de material hereditario. **Metafase I:** los pares de homólogos se ubican en el centro de la célula. **Anafase I:** cada uno de los integrantes del par de homólogos comienza a migrar hacia uno de los polos de la célula. **Telofase I:** se forman nuevas membranas nucleares alrededor de cada conjunto de cromosomas, y se forman dos núcleos, cada uno con un juego de cromosomas.

**Profase II:** las envolturas nucleares de las dos células hijas desaparecen. **Metafase II:** los cromosomas se ubican en el centro de cada núcleo. **Anafase II:** se separan las cromátidas hermanas. Cada cromátida (que ya puede ser llamada cromosoma) se dirige a un polo de la célula. **Telofase II:** se forman las membranas alrededor de los cuatro conjuntos de cromosomas, y se originan cuatro núcleos, cada uno con un número haploide de cromosomas. **Citocinesis:** se divide el citoplasma en cuatro partes, y se forman las cuatro células hijas, que maduran hasta convertirse en gametos.

## Recombinación

Durante la primera división de la meiosis, la separación de los cromosomas homólogos se produce al azar. Las células resultantes de la meiosis I no son idénticas, ya que tienen distintos miembros de cada par de homólogos. Además, durante el apareamiento de los cromosomas homólogos, en la profase I, sucede un fenómeno en el que algunos alelos se intercambian (el alelo del cromosoma paterno termina siendo parte del cromosoma materno, y viceversa). Esto se denomina recombinación o ***crossing over***, y es un factor que aumenta la variabilidad en la descendencia. Como resultado, las células hijas tienen cromosomas modificados con respecto a la célula original.




*En la profase I, los homólogos intercambian partes en un proceso llamado recombinación o* crossing over.

CIENCIAS **EN LA NET**



En el siguiente enlace http://goo.gl/vxMjS9, podrán ver una infografía acerca de la división meiótica.

›› Uso de TIC en el análisis de modelos científicos.

## La reproducción y la diversidad

Cuando se busca conservar una característica determinada en alguna especie, como el tamaño de algún fruto o la cantidad de granos de alguna planta de uso comercial, se cruzan individuos de igual fenotipo y se obtienen generaciones cada vez más homocigotas para todos sus alelos. Si bien se logra el fenotipo deseado, dichos individuos también serán homocigotas para alelos que los exponen a condiciones no favorables, como enfermedades o susceptibilidad a ciertas plagas, etcétera. Estas desventajas pueden ser controladas en un cultivo, pero en la naturaleza es siempre más ventajosa la variabilidad. Por esta razón los perros llamados "de raza" son mucho más susceptibles a enfermedades que los llamados "mestizos", ya que poseen un grado muy alto de homocigosis. Incluso existen enfermedades características de cada raza de perros: los ovejeros alemanes son propensos a problemas en la cadera y los boxer, a los tumores, entre otros ejemplos.



*Las manzanas salvajes presentan más variabilidad que las manzanas cultivadas, ya que estas últimas tienen un alto grado de homocigosis.*

ACTIVIDADES

1. ¿Cómo se relacionan la meiosis y la segunda Ley de Mendel?

2. ¿Qué diferencias existen entre la mitosis y la meiosis? ¿En qué etapa de la meiosis se separan los cromosomas homólogos? ¿Y las cromátidas hermanas?

# ¿Un carácter, un gen?

Hasta hace un tiempo, se pensaba que cada uno de los caracteres observables de nuestro cuerpo dependían de un único gen, y que estos presentaban una herencia correspondiente con los principios de Mendel. A medida que avanzaron las investigaciones en genética, los científicos se dieron cuenta de que la herencia de gran parte de nuestros rasgos tiene una base genética bastante más compleja. Algunos caracteres, por ejemplo, dependen de genes con muchos alelos; otros dependen de genes con alelos que tienen dominancia incompleta, y unos cuantos son el resultado de la acción de varios genes en conjunto. Sin dejar de mencionar la influencia que puede tener el ambiente en muchos de ellos. Sin embargo, hay varios caracteres que sí poseen herencia mendeliana. ¿Cómo podrían comprobarlo?

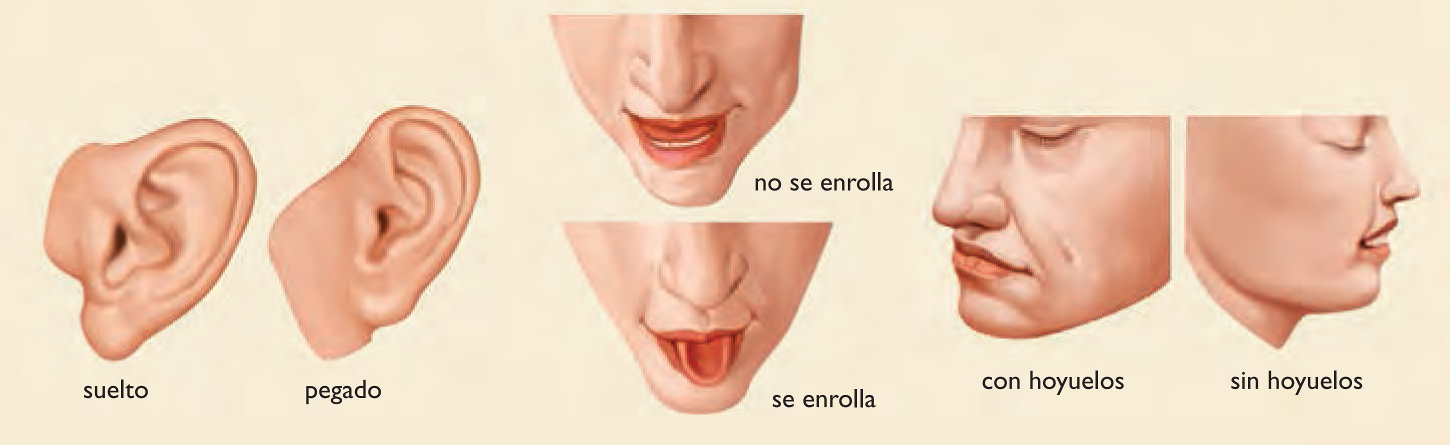
[**HIPÓTESIS**] Ciertos fenotipos de nuestro cuerpo (como tener el lóbulo de la oreja pegado a la cabeza o no, ser diestro o zurdo, poder enrular la lengua o no y tener pecas, entre otros) dependen de un único gen autosómico (no ligado al sexo) con herencia mendeliana.

[**PREDICCIÓN**] Si se analiza un árbol genealógico a partir de los fenotipos de las personas que lo componen, se pueden determinar sus genotipos, y comprobar que los rasgos mencionados se heredan según los principios de Mendel.

[**MATERIALES**] Anotador * lápiz * participación de los familiares más cercanos (padres, abuelos, hermanos, tíos y primos).

[**PROCEDIMIENTO** POR PASOS]

**1.** Para cada uno de los parientes que participaron de este taller, anoten su fenotipo para las siguientes características:




*Lóbulo de la oreja pegado a la cabeza o suelto.*

*Capacidad de enrollar la lengua.*

*Formación de hoyuelos al sonreír (indiquen si presentan hoyuelo de un solo lado de la cara, de ambos o de ninguno).*



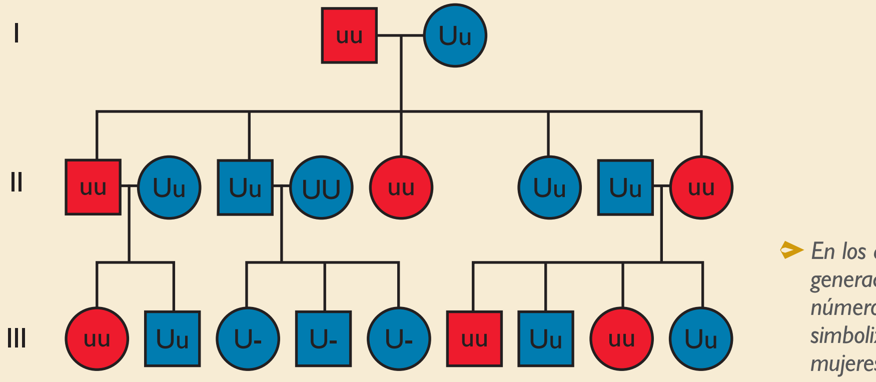

Habilidad para escribir con la mano izquierda o con la derecha.

Si el comienzo de la cabellera es recto o presenta un pico.



## [RESULTADOS]

**1.** Con los datos que consiguieron con relación al carácter "lengua", un grupo de estudiantes armó un árbol genealógico como el de la figura y dedujo los genotipos de cada pariente.




*En los árboles genealógicos, cada generación se simboliza con un número romano. Los varones se simbolizan con cuadrados, y las mujeres, con círculos.*

**a.** ¿Están de acuerdo con los genotipos propuestos?
**b.** ¿Enrollar la lengua es la variante dominante o recesiva?
**c.** Si en la generación II no hubiera personas que no saben enrollar la lengua, ¿cuál sería el genotipo posible de la madre?

**2.** Confeccionen árboles genealógicos para los datos que obtuvieron del resto de los caracteres analizados, y traten de deducir cuál es el fenotipo dominante y cuál el recesivo para cada uno de los caracteres que analizaron.

## ACTIVIDADES

**1.** ¿Qué carácter presenta una herencia mendeliana?

**2.** Comprueben que se cumplan los tres principios de Mendel para esos caracteres.

**3.** ¿Algún carácter parece no mendeliano? ¿Cuál? ¿Qué principio de Mendel no cumple?

## ESTUDIO DE CASO



**1.** **Supongan que una variedad de maíz híbrido es heterocigota para dos caracteres de interés comercial, A y B, donde A representa la cantidad de azúcar de los granos y B, tiempo de maduración. Cada una de estas características dependen de un solo gen y poseen una herencia mendeliana.**

**a.** ¿Qué gametos produce cada uno de estos individuos? Indiquen el fenotipo y el genotipo de cada posibilidad.

**b.** ¿Cómo serán los descendientes de un cruzamiento entre dos híbridos? Elaboren un tablero de Punnett con los gametos posibles de cada parental, y calculen las proporciones genotípicas y fenotípicas de los descendientes en los distintos casilleros de la tabla.

**2.** **¿Cuál es el negocio de las compañías que producen semillas? ¿Les parece justo este procedimiento? ¿Por qué?**

**3.** **Indiquen si las siguientes afirmaciones son verdaderas o falsas. Justifiquen cada una de sus elecciones.**

**a.** Gregor Mendel estableció la teoría cromosómica de la herencia.

**b.** Los genes son porciones de ADN con información que puede ser leída por la célula.

**c.** Los individuos heredan de ambos padres una mezcla de órganos en miniatura que determinan sus características.

**d.** Los individuos heredan de sus padres la información que determina sus características.

**e.** La primera ley de Mendel establece que el aspecto de todos los individuos obtenidos del cruzamiento de dos líneas puras es la mezcla de la de sus padres.

**4.** **Completen las siguientes afirmaciones con los términos que se muestran a continuación:**

**Diploide - fenotipo - alelos -
fenotipo recesivo - homocigota -
fenotipo dominante - genotipo - heterocigota**

**a.** Se denomina ______________ a la forma de un carácter que se manifiesta en un individuo. Cuando dicha forma se manifiesta en todos los individuos resultantes del cruzamiento entre dos líneas puras, se lo llama ______________.

**b.** Al aspecto de la línea pura parental a la que no se parece la generación F1 se lo denomina ______________.

**c.** Cuando para un gen, un individuo ______________ tiene dos ______________ iguales, entonces se dice que es ______________ para ese gen, en cambio si son distintos, se denomina ______________.

**d.** El conjunto de información que un organismo puede transmitir a su descendencia, ya sea que la manifieste o no, se conoce como ______________.

**5.** **Respondan en grupo a las siguientes preguntas.**

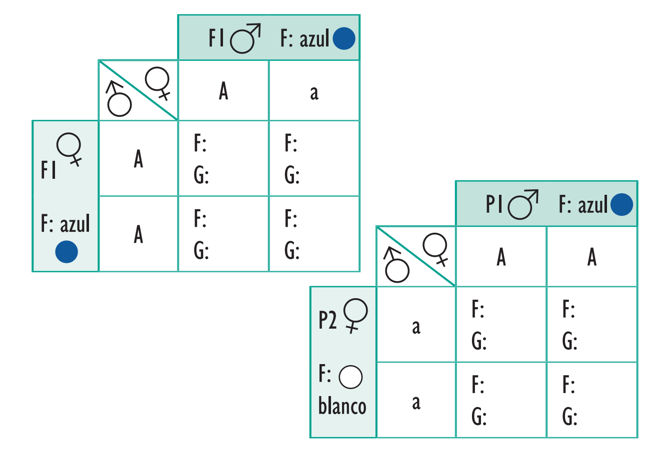
**a.** ¿Qué avances tecnológicos creen que hicieron posible la explicación biológica para el modelo de Mendel?

**b.** ¿Qué desventajas tiene que un individuo sea homocigota para todos sus alelos?

**c.** ¿Por qué dos hermanos no son idénticos entre sí a pesar de ser hijos de los mismos padres?

**d.** Expliquen por qué existe un 50% de probabilidades de que un individuo sea hembra. ¿Qué gameto determina el sexo de un descendiente, el femenino o el masculino? ¿Por qué?

**6.** **Completen los siguientes cuadros e indiquen el fenotipo (expresado en palabras) y el genotipo (expresado con dos iniciales) de los individuos representados en cada caso.**



| | ♂ \ ♀ | F1 ♂ F: azul ● A | a |
|---|---|---|---|
| F1 ♀ F: azul ● | A | F:<br>G: | F:<br>G: |
| | A | F:<br>G: | F:<br>G: |

| | ♂ \ ♀ | P1 ♂ F: azul ● A | A |
|---|---|---|---|
| P2 ♀ F: ○ blanco | a | F:<br>G: | F:<br>G: |
| | a | F:<br>G: | F:<br>G: |

**7.** **Investiguen acerca de la teoría de la herencia mezclada y respondan a estas preguntas.**

**a.** ¿Qué opinan acerca de esta teoría?

**b.** ¿En qué creen que se parece a lo que sabemos hoy en día?

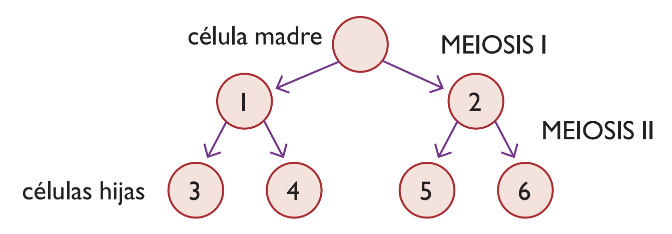
**c.** ¿Cuáles son las diferencias con el modelo de Mendel y la teoría cromosómica de la herencia?

**8.** **Respondan a las siguientes preguntas.**

**a.** El número diploide de cromosomas de los perros es 78. ¿Cuántos cromosomas tienen en cada una de sus gametos?, ¿y en una célula de la lengua?

**b.** El número haploide de cromosomas de la planta de ciruelas es 24. ¿Cuántos cromosomas tiene en las células de la raíz?, ¿y en los granos de polen?

**9.** En el siguiente esquema de una célula en división meiótica, indiquen cuáles de las células hijas tienen exactamente la misma información y cuáles poseen información distinta.

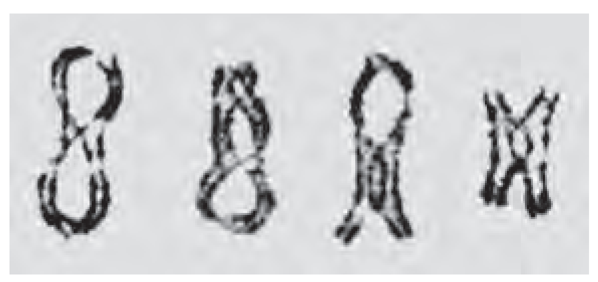



**10.** Observen la siguiente imagen.

**a.** ¿Pueden identificar qué proceso está ocurriendo?

**b.** ¿En qué etapa de la meiosis ocurre esto?

**c.** ¿Cuál es el resultado de este proceso y cuáles son sus implicancias en cuanto a la información que heredan las células hijas?



**11.** Luego de haber leído este capítulo, ¿qué aprendieron acerca de la herencia de los caracteres?

**12.** ¿Cambió alguna de las ideas que tenían con respecto a los temas del capítulo?

**13.** ¿Qué tema les interesó más? ¿Por qué?

**14.** ¿Qué tema no entendieron? ¿Sobre cuál les gustaría seguir leyendo?



## [RED CONCEPTUAL]

HERENCIA BIOLÓGICA
su estudio posterior dio lugar a
Teoría cromosómica de la herencia
fue estudiada inicialmente por
Gregor Mendel
reveló
Excepciones a las Leyes de Mendel
- Dominancia parcial
- Genes ligados
- Herencia ligada al sexo

su trabajo dio generó
confirmó parcialmente
Leyes de Mendel
- De Uniformidad
- De segregación
- De segregación independiente

Dominante
Recesivo
Fenotipos
observó
Patrón en el aspecto de descendencia de distintos cruces
a partir de los que hizo
Predicciones estadísticas
postuló
FACTORES HEREDITARIOS
contrarios a
Teoría de las mezclas

dio lugar al concepto de
GENES
que se correspondían con los
con distintas variantes o
Alelos
si son iguales
Homocigota
si son distintos
Heterocigota
estos son
Genotipos

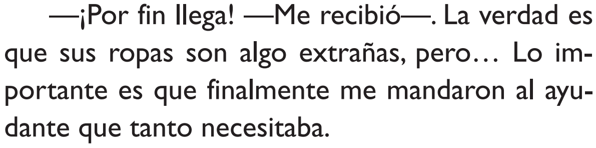
presentes en los
Cromosomas
presentes en las células
Diplodes
Haploides
se transforman en
a través de la
Meiosis

| Publicación de las ideas de Lamarck sobre la herencia de caracteres adquiridos | Encuentro con El Viajero del tiempo. | Charles Darwin publica *El origen de las especies* | Mendel publica su trabajo sobre la herencia | Walter Sutton y Theodor Boveri desarrollan de forma independiente la teoría cromosómica de la herencia |
|---|---|---|---|---|
| 1809 | 1857 | 1859 | 1866 | 1902 |

1810 1820 1850 1860 1870 1900

*El viaje había sido bastante turbulento, y ya me preparaba para un "atiempizaje" de emergencia, pero por suerte aterricé sobre unos prados que amortiguaron la caída. Estaba en un campo y a lo lejos se veía un imponente monasterio. Apenas hice a tiempo de esconder la máquina, que ya se me acercaba corriendo un monje con macetas en la mano.*

# Las plantitas del monje Mendel



—¡Por fin llega! —Me recibió—. La verdad es que sus ropas son algo extrañas, pero… Lo importante es que finalmente me mandaron al ayudante que tanto necesitaba.

—¿Ayudante?

—¡Claro! —exclamó—. ¿Cómo me las voy a arreglar con más de 28.000 plantitas? Venga que le muestro. Ah, me olvidaba, soy Gregor Mendel, monje agustino.

Trató de darme la mano, pero como estaba tan cargado de macetas, le resultaba muy complicado. No pareció importarle demasiado, y se dirigió a paso vivo a una huerta muy prolija y cuidada en la que parecía sentirse a sus anchas.

—Usted es experto en jardinería, ¿verdad? —preguntó, mientras avanzaba rápidamente por el jardín.



Abadía de Santo Tomás, en la actual República Checa.

—Bueno, yo… —balbuceé—. Estudié algo de botánica en la facultad, pero la verdad es que…

No pareció escucharme, mientras observaba con detenimiento las plantas, sus plantas.

—No es tan importante, acá va a aprender. Yo tengo algunas ventajas, sabe, cuando era chico trabajaba en una granja, hice de jardinero, criaba abejas… Tome, ayúdeme con estas herramientas.

—Ah, pero usted es todo un biólogo, entonces.

—Algo así. —Sonrió—. Pero sobre todo estudié matemática, física, meteorología, filosofía…

—Disculpe, Gregor, pero no puedo dejar de preguntarle: si tanto le interesa la ciencia, ¿por qué no se dedicó exclusivamente a ella?

—Lo disculpo, lo disculpo… Le cuento: esta abadía es un lugar propicio para la investigación y para la enseñanza de diversas ciencias; de hecho, no podría haber costeado mis estudios por mis propios medios. Ordenarme como monje fue una forma de poder acceder a mi formación académica.

—¿Y de que lo dejaran estudiar lo que quisiera?

—Casi —dijo, mientras observaba unas flores violetas— al principio intenté trabajar con ratones, pero a la gente de la abadía no le gustaba mucho la idea de que el edificio se llenara de roedores. Por eso me dediqué a mis plantitas, y con el tiempo descubrí que son absolutamente maravillosas.

Acompañé a Mendel en un paseo por el jardín y fue contándome las características que observaba y medía en sus plantas de arveja: el color de las

flores, la forma de las semillas, la altura del tallo, los frutos.

—Es cuestión de observar con ojos de científico, ayudante —me fue explicando—. Y creo que hemos llegado a algo importante, que tiene que ver con la herencia. Veo que usted anda un poco deficiente de cabello.

—Muy sagaz observación, Gregor —dije, un poco molesto.

—Y seguramente su padre, y tal vez el padre de su padre, hayan sufrido un similar desperfecto.

—Si es que podemos llamarlo así…

—O sea que podríamos afirmar que es un carácter hereditario. Como las formas, los colores y las alturas de mis plantitas. Lo que hice todos estos años fue cruzar plantas de diferentes características…

—Y observar a las plantas hijas —aventuré.

—Y a las nietas, y a las hijas de las nietas. Y descubrí que la herencia no es azarosa, sino que sigue estrictas reglas matemáticas de lo más sencillas. Para que lo entienda: hay características que se heredan más fácilmente que otras.

—O sea que son como dominantes.

—¡Muy bien, ayudante! Excelente palabra. Sin embargo, hay otras características que solo aparecen en los hijos, si las heredan tanto del padre como de la madre… de padre y madre planta, se entiende.

—¿O sea que la mamá y el papá le pasan información independiente a los hijos, que no se mezcla?

—¡Bravo! —festejó—. Téngame este balde. Hay unidades de herencia, y lo que se hereda depende de dos unidades, una paterna y otra materna. Y una de las dos se expresa por sobre la otra que, aunque no se muestre, también puede ser transmitida a las generaciones. Pura matemática, muchacho.

—¡Fascinante! Y todo lo hizo con lápiz y papel…

—Y con miles de plantas de arveja, no se olvide. Y sobre todo, con estos anteojos que ve acá —Señaló sus lentes redondos—. Pero la verdad, y aquí entre nosotros, no creo que mis colegas aprecien mucho mis resultados. Me parece que van a quedar como meras curiosidades de un monje aficionado a la jardinería.

—No crea, Gregor, tal vez se sorprenda —le contesté, con aire misterioso.

—Pero basta de hablar, que hay mucho que hacer. —Comenzó a caminar hacia el monasterio—. Para mañana me tiene que juntar unas diez carretillas de tierra, ir a buscar el abono a los establos y catalogar unas trescientas plantas nuevas que ya pueden ser observadas. Y además…

Lo dejé hablando solo mientras aproveché para escaparme sigilosamente hacia donde había escondido la máquina del tiempo. Mucha ciencia, sí, pero eso de las carretillas…

Esta es una parte del trabajo publicado por Mendel.



Antes de irse, El Viajero ayudó a Mendel a clasificar algunas de las semillas.

**1.** En biología, se conoce como modelo experimental a la especie que se elige para realizar experimentos. ¿Cuál es el modelo empleado por Mendel? De acuerdo con lo que plantea el texto, ¿qué otros modelos hubiera elegido para estudiar la herencia? Confeccionen una tabla en la que indiquen las ventajas y las desventajas de ambos modelos experimentales.

**2.** ¿Por qué Mendel en lugar de decir "genes" habla de “unidades de la herencia” ?

**3.** En función de lo que leyeron en el capítulo 8 sobre los experimentos con *Pisum sativum*, ¿por qué consideran que para Mendel es tan importante la matemática en el estudio de la herencia?

# Índice alfabético




Primera edición.
Esta obra se terminó de imprimir en enero de 2014,
en los talleres de New Press Grupo Impresor S.A.,
Paraguay 264, Avellaneda, provincia de Buenos Aires, Argentina.